溶接の実務　目次

●はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・P.1

●金属接合方法の変遷とその選択・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・P.2
○加熱しない接合方法(かしめ・鋲接・ﾎﾞﾙﾄ締め・接着)
○ガス熱による接合方法(ろう付け・ｶﾞｽ溶接)
○アーク熱による接合方法(ｶｰﾎﾞﾝ・裸・被覆・不活性ｶﾞｽ・ﾏｸﾞ・ｻﾌﾞﾏｰｼﾞ)
○微細集中熱による接合方法(電子ﾋﾞｰﾑ溶接・ﾚｰｻﾞ溶接)
○加熱加圧による接合方法(鍛接・ﾌﾗｯｼｭﾊﾞｯﾄ溶接・抵抗溶接・摩擦溶接)
○接合方法選定の目安(接着・ﾎﾞﾙﾄ締めと溶接・適正溶接法)

●溶接の基本編
◎溶接での冶金的なこと・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・P.15
○熱による顕微鏡組織の変化(ｾﾒﾝﾀｲﾄ・ｵｰｽﾃﾅｲﾄ・ﾌｪﾗｲﾄ・ﾊﾟｰﾗｲﾄ)
○熱処理と顕微鏡組織(焼き入れ・焼きもどし・焼きならし・焼きもどし)
○結晶粒と圧延(加工硬化・再結晶温度・熱間加工・冷間加工)
○鋼材内の添加元素(微量成分・添加効果)
○溶接材料(脱酸剤・ｲﾙﾐﾅｲﾄ・ﾗｲﾑﾁﾀﾆｱ・高酸化ﾁﾀﾝ・低水素・鉄粉酸化鉄)
○溶着金属とその周辺(溶接熱影響部・柱状晶・粗粒細粒域・鋼のぜい化)
◎溶接での構造的なこと・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・P.25
○軟鋼継手の強さ(降伏・引張・伸び・曲げ・衝撃)
○溶接継手の特徴(鋲と対比・収縮・変形・割れ進展)
○突合せ溶接継手(開先・片面・余盛・継手位置)
○すみ肉溶接継手(ﾉﾄﾞ厚・脚長・連続と断続・継手位置)
○溶接継手の交差(ｽｶﾗｯﾌﾟ・溶接順序)
○溶接での割れ(高温低温割れ・原因調査・事例と対応)
◎溶接用エネルギーのガスと電気のこと・・・・・・・・・・・・・・・・P.43
○可燃ガス(ｱｾﾁﾚﾝ・ﾌﾟﾛﾊﾟﾝ・発生器・標準炎)
○アークの特徴(棒ﾏｲﾅｽ・棒ﾌﾟﾗｽ・ｱｰｸﾌﾞﾛｰ・溶滴移行)
○交流アーク溶接機の特徴(ﾘｱｸﾀﾝｽ回路・定電流特性・定電圧特性)
○直流アーク溶接機の特徴(ｽﾗｲﾄﾞﾄﾗﾝｽ式・ｻｲﾘｽﾀ式・ｲﾝﾊﾞｰﾀ式)

●溶接の施工編
◎溶接前作業のこと・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・P.52
○作業準備書類(基準書・要領書・仕様書・作業指示書)
○突合せ継手の開先(開先角度・肩の高さ・板厚と形状・特殊形状)
○すみ肉継手の開先(完全溶込み・部分溶込み・傾斜継手)
○仮付け溶接(仮付け位置・棒径・溶接長・仮付け割れ)
○溶接部材の拘束(拘束ｼﾞｸﾞ・ｽﾄﾛﾝｸﾞﾊﾞｯｸ・すみ肉用ｼﾞｸﾞ・逆歪み法)
○作業前の確認(保護具・機器とｹｰﾌﾞﾙ・溶材の乾燥)

(目次)

◎溶接作業のこと・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・P. 63
○溶接直前準備作業(タブ・開先清掃・予熱)
○溶接条件の選定(棒径・トーチ角度・トーチ位置・電圧・電流・速度)
○溶接作業(溶接手順・溶接待て・パス間温度・スパッタ)
○補修溶接(火花試験・ピーニング・ストップホール)
◎溶接後作業のこと・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・P. 73
○後熱処理(後熱・溶接後熱処理)
○歪み取り(プレス・加熱方法・順序)
○仕上げ作業(余盛の仕上げ・すみ肉の仕上げ)
○溶接後の検査(カット・クーポンテスト・漏れ検査)
◎溶接の自動化のこと・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・P. 80
○自動化への準備(部材精度・準備時間・稼働率)
○突合せ継手への下向姿勢の自動溶接(サブマージ・小型サブマージ・マグ)
○すみ肉継手への水平・下向き姿勢の自動溶接(グラビティ・マグ・サブマージ)
○立向姿勢での自動溶接(エレスラ・エレガス・マグ)
○その他の姿勢での自動溶接(パイプ・横向・上向)
○ロボット溶接(軸構成・教示・センサ・同期化)

●溶接の技術管理編
◎溶接資材・設備の管理のこと・・・・・・・・・・・・・・・・・P. 91
○材料の管理(中央庫・小出し庫・溶材種類)
○ガスの管理(移動供給・大型供給・消費量)
○溶接機の管理(機種・保有数・保守・消耗品)
○溶接副資材の管理(ケーブル・自動機付属品・消耗保護具)
◎溶接の作業管理のこと・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・P. 96
○溶接での組織(配置・構成)
○溶接作業量の見積(溶接長・アークタイム・製品重量・溶材歩留まり)
○溶接作業管理曲線(工期・能率)
○溶接関連資格(技術者・指導者・技能者・安全作業)
◎溶接での安全管理のこと・・・・・・・・・・・・・・・・・・・P. 102
○溶接作業員の安全(保護具・ヒューム・感電・火災爆発)
○溶接作業周辺の安全(密室作業・アース回路・ヒューム滞留)
◎溶接検査と技能管理のこと・・・・・・・・・・・・・・・・・P. 106
○溶接継手に適用する検査法の特徴(放射線・超音波・探傷)
○欠陥の種類とその原因および対応(割れ・スラグ巻き込み・ブロホール)
○溶接技能と訓練(運棒操作・訓練期間・技能進捗)
○技能資格と個人管理(JIS・有効期限・個人カード)

●附表
○溶接関連の資格一覧・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・P. 112
○溶接関係の技術書リスト・・・・・・・・・・・・・・・・・・P. 118

はじめに

金属加工分野での一つの技術である溶接は、比較的地味ではありますが、着実にその適用域を拡げて一般化し、今日に至っています。しかし、この溶接は工学で言う構造・冶金・電気などの組合わさった複合技術ですので、何れか一つの専門分野の方が、初めて溶接を担当されますと、分かりにくい面が多々あるのではと思っています。

そこで本文は、それらの方に知っていて欲しい事項として、溶接技術が世に出てきた経緯と、溶接に必要な各専門分野の基礎的なこと、そして製品に溶接を適用した場合の、施工上での留意点などを現場的視点で記述してみました。

内容については、溶接が専門でない技術者を念頭においていますので、専門分野の関連事項については、物足りなさを感ぜられるかもしれません。その場合は本格的な技術書でより深い知識を得ていただければと考えます。またここでは、最も多く使われている軟鋼のアーク溶接を中心にまとめていますので、溶接上の特異点を説明するのに、普通はステンレス鋼などで起こる顕著な例を引き出すほうが良い場合でも、それは極力避けて、せいぜい490N/mm^2(50キロ級)高張力鋼程度にとどめるようにしました。

項目については、これまでの溶接技術書と少し組み方を変えて、独自な図なども多く挿入することで、より実務面での助けになればと心がけました。また、施工編や技術管理編では、実務経験に基づく私見を多く述べていますので、現場溶接管理での一つの見方として理解していただき、より良い独自のマネージメントを展開されることを望みます。

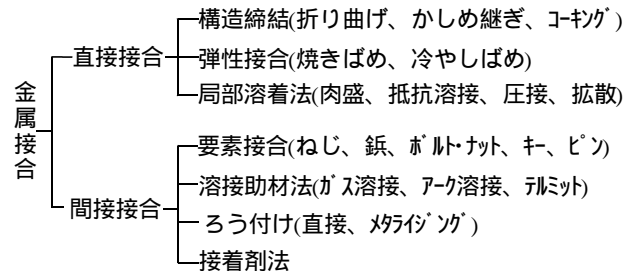
そして、本文を本格的な技術書へ至る第一段階として、他部門から溶接を担当することになった方や、その上司で工場運営全体からして溶接のあり方を考えられている方々に通読していただき、溶接技術への興味をより深められ、一段と着実な溶接施工が行われることを期待しています。

平成 12 年 2 月　　著　者

溶接の実務

金属接合方法の変遷とその選択

人が石器時代から抜け出し金属をを利用しはじめたのは紀元前 4000 年頃で、その最初は宇宙から飛来した隕鉄や純度の高い原鉱などをそのままか、叩き割る程度の単純な金属加工で目的を達していたのではとされています。

そして純度の高い自然鉱を取り尽くし、金属の手軽な入手が難しくなつてきますと、鉱石に熱を加える新しい金属抽出の方法を知り、本格的な金属利用の時代となります。このために使われた熱エネルギーも、当初の薪の利用から木炭、石炭、ガス、電気と次第に多様化し今日に至っています。

代表的な金属接合方法

一方、金属を手に入れると、当然のことながら、使用目的に合った形状を得るための加工技術を、並行して学んできます。その加工も、はじめは叩き曲げと伸ばし、それに溶かした金属を型に流し込む鋳造で、満足していたのでしょうが、それをより大きく複雑な立体物へとなりますと、部品としてできあがった金属間をつなぐ必要に迫られることになります。これが金属接合のはじまりです。

その方法は表にみられるような、直付けする直接接合と介在物を挟んでの間接接合があります。しかし、ここではアーク溶接を中心にとしていますので、非加熱と加熱や加圧による方法での溶接の位置付けを考えてみます。

溶接は用語上では、接合熱や圧力を加えて目的を達するものとして規定されており、字句の変遷では漢字圏の中国では「**鎔接**」から略字化された「**焊接**」へ、韓国は最初から「**熔接**」、そしてわが国は「**鎔接**」から「**熔接**」(1936 年)さらに「**溶接**」(1960 年)と変わっています。

○加熱しない接合方法(かしめ・鋲接・ﾎﾞﾙﾄ締め・接着)

金属部品を加熱せずに接合する方法は、変色や変形が起こらない特徴を持っていますので、それなりに多く使われています。

缶詰のはぜ折り部

まず、この方法の一つに曲げ加圧だけで継ぐ「**はぜ折り**」があります。これは、かってブリキ製の玩具などでよく見られたのですが、継ぎ目箇所が膨らむことや、ごく薄板のみで形状的にも制約を受けるなどがあり、さほど一般的ではありませんが、今日でも缶詰の縁などには使われています。

かしめのある虎徹兜(1650)

次いで補助部材側に穴をあけ、本体側の突起部に挿入して、抜けないように先端を曲げるか槌打ちで膨らませて固定する方法や、重ねた板に穴をあけ、ピンを差込み頭部を槌打で固定する「**かしめ**」があります。簡単には剥がれず、確実に接合されていることが外観からも容易に判断できますので、仏具や武具、それに装飾

品や家庭用品の取っ手などに古くから採用されているごく一般的な接合法です。

このかしめは農機具から、より大きな部品へと適用範囲を広げ、構造物にも適用できる「**鋲接**」技術として発展してきます。

鉄道橋での鋲接部

そして、百万本以上の鋲を使ったパリのエッフェル塔(1889 年)に代表されるように、ある時期には大型構造物での金属接合の主流となります。しかし、作業時の騒音や作業能率の悪さなどで、後から出てくるアーク溶接に次第に取って代わられ、その程度が顕著となるのは、わが国の場合では 1950 年以後となります。

鉄骨構造でのボルト締め

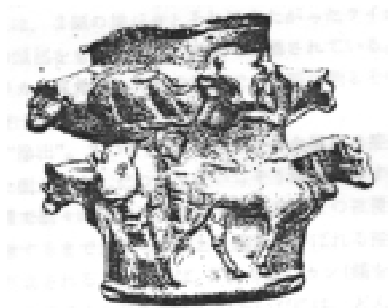
鋲接が普及している段階で、取り付けだけでなく取り外しも容易なネジが発明されていますが、鉄砲伝来(1543 年)の時にはじめて知ったとされていますので、わが国の導入はそれ以後となります。

この方法はナットと組合わさって「**ボルト締め**」工法として普及し、振動などでも弛まないワッシャの工夫などが加わったことで適用範囲を広げ、今日に至っています。大型溶接構造物でも溶接に比べ変形はなく、拘束度に自由度のあること、それに火気を使用しないなどの性質を活かし、屋外現場継手向きとして適用されています。

金属接着剤の広告

その他の方法では、最近出てきた金属用の「**接着剤**」があります。素材金属に変色や変形が起こらず、単純なのり付け作業で目的が達せられるので、大いに利用範囲が広がりそうなのですが、現状では装飾品か二次部材程度までで、構造物への適用までには至っていません。

これは金属接着の実績が少なく、気候の変化、熱や水への耐久力を含んだ継手疲労についてのデータ不足などもありますが、接合法として認められるための条件である、接合だけでなく同時に剥がす技術の完成と、接合継手の信頼性が確かめられる非破壊検査方法の確立が、現段階では未到達のためではないかと思われます。

○ガス加熱による接合方法(ろう付け・ｶﾞｽ溶接)

牛頭のろう付け銅器(BC1000)

金属接合の最初の方法は、接合箇所を加熱し、そこに素材より融点の低い溶融した金属を接合部の隙間に浸透力を利用して、そそぎ込み固定する「**ろう付け**」ではなかったかと思われます。

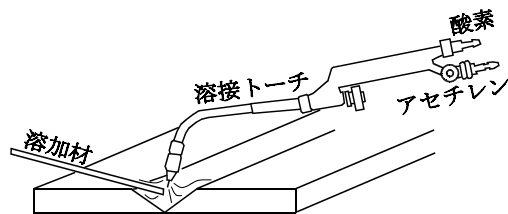
古い記録によりますと、エジプトのヘレス王妃(紀元前 2500 年)の墳墓から出土した天蓋は銀ろうを使って固定されていますし、古代ローマの鉛製水道管(紀元前 100 年)の継手がろう付けされていたとあります。

わが国の場合も、倉敷市や徳島市で出土した銅鐸(400 年頃)が鋳掛け補修されていますし、

奈良の大仏(約 500 トン、752 年完成)建造時には白鑞(しろめ:錫と鉛の合金)を約 8.5 トン使ったと東大寺要録に書かれてありますので、鋳物間の継ぎ目や鋳損じ箇所の補修にろう付けが適用されていたようです。

江戸時代の鋳掛け作業

ろう付けでの初期の加熱方法は、節に小穴をあけた竹フイゴに息を吹きかけ、炭火の火力を強めて行なわれていたようです。この方法は技能があるレベル以上になると比較的見栄えよく接合できるために、仏像の光背の取り付けなどの装飾品への利用や、非鉄金属品の補修から、日用品の鍋釜の漏れ止めへと広がつています。

その後、ろう付けの熱源は、家庭で使う電気ヒータを利用したはんだこてもありますが、工業的にとなりますとガストーチが主力で、その他では多量生産向きの真空加熱炉などを利用する方式もあります。そして適用範囲も電気製品の配線から、細径パイプの継ぎ、そして半導体部品へと、主に非鉄品の薄物分野で伸び今日に至っています。

フランス式溶接器によるガス溶接

次ぎに出てきた工法に「**ガス溶接**」があります。カーバイドに水をかけて発生するアセチレン・ガスと酸素を混合したのを熱源としています。したがってこの方法は、工業的に　多量に酸素を取り出す空気液化法が発明(1902 年)されてから以後の実用化となります。わが国へはフランスとドイツからほぼ同時期(1910 年前後)に、酸素製造装置と並行輸入されたことからはじまっています。

具体的な作業は、これまでの炭火とフイゴの組み合わせより、はるかに高い 3,500 ℃近くになる火焔をトーチ先端から出し、接合表面を溶かすと同時に、その中に加えられた溶加材による溶着金属で接合が行われます。

設備としては、アセチレン発生装置と酸素ボンベ、それに溶接トーチとそれらを連結するガスホースで済みますので、可搬性に富み、トーチ先端のチップの取り替えで溶接だけでなく切断もできることもあり、わが国では比較的早いピッチで普及しています。特に、関東大震災(1923 年)時の復旧工事には大いに活躍したとあります。

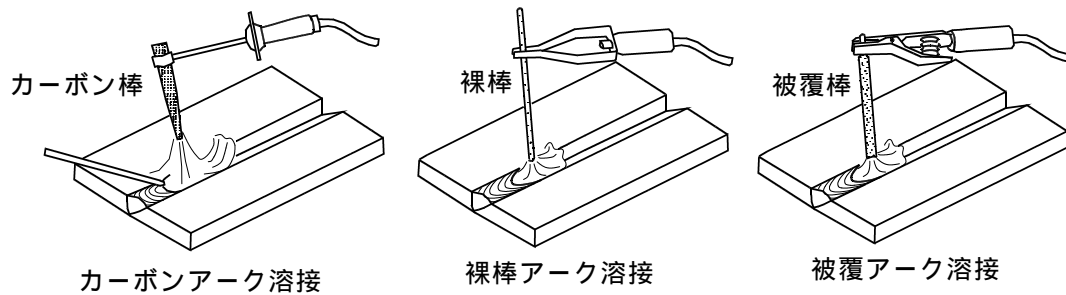
ガス溶接作業(米1940年)

この方法はその後、構造物への適用も増えたのですが第二次大戦(1941 年)前後から、厚板にも高能率で適用できるなどで台頭してきたアーク溶接に浸食され、アセチレン発生装置が溶解アセチレン・ボンベになどの便利さへの改良はあったのですが、現状は軟鋼分野では小規模な薄板加工への適用に限られているようです。

○アーク熱による接合方法(ｶｰﾎﾞﾝ・裸・被覆・不活性ｶﾞｽ・ﾏｸﾞ・ｻﾌﾞﾏｰｼﾞ)

アーク溶接は電気エネルギーを使い炭素電極間でアークを飛ばし、溶接箇所を加熱溶融する「**カーボンアーク溶接**」からはじまります。その基は照明用であったアーク灯の出す 6,000 ℃近い高温が、光だけでなく金属溶解にも利用できるとして出てきた接合法です。

アークによる素材の溶かし付けのみの接合から、アーク内に溶加材を加えて溶着金属を得る方法へ、そして炭素電極の一方を素材に、他方の電極は溶加材を挟んだホルダとする、簡

便で移動性に富んだ方法へと変わってきます。

カーボンアーク溶接から被覆アーク溶接へ

次いで、溶加材が太さ数 mm 程度の鉄線であった「**裸棒アーク溶接**」から、アークによる溶融金属の大気からの保護の重要性が認識され、アーク周辺をガスで覆ったり、溶融金属の擬固する段階で表面をスラグが包み込むなどを目的として、鉄線の外周にフラックスを塗布した被覆棒を使う「**被覆アーク溶接**」へと変遷し、今日に至っています。

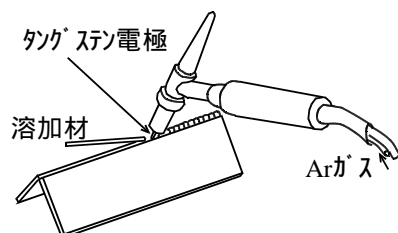
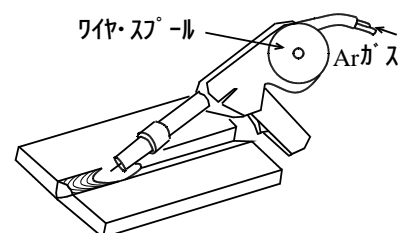
わが国ではカーボンアーク溶接が 1904 年、被覆アーク溶接は 1914 年に導入されていますが、共に大型鋳鋼品の鋳損じ箇所の補修が主目的であったようです。これが構造物への適用では、1920 年に被覆棒を使つて建造された 1,500 人乗りのフェリーボートが、初期の代表的溶接製品となります。

初期の被覆アーク溶接(1919年)

そして、この被覆アーク溶接は、昭和初期から急速に普及しますが、これを多用した艦船で重大な破破損事故(1935 年)があり、以後主要構造への溶接適用が禁止され、一時的に鋲接に後戻りする事態が起つてしまいます。しかし、それでも工期の短縮化やその経済性が魅力で再び力を取り戻し、1950 ～ 60 年代に被覆アーク溶接の最盛期を向かえます。

この鉄線にフラックスを塗布した被覆棒が出た時期より少し遅れて、アークの周辺の空気遮断をガスを吹き付けることで、フラックスと同じ効果が出せないかとする試みが行われています。そして、種々のガスの中からまず実用化されたのが、他の何れとも化合物を作らない不活性ガスで、具体的にはアルゴンとヘリウムが使われました。

ティグ溶接のトーチ部

先端がタングステン電極で、ノズルから不活性ガスが吹き出すトーチと、アースに取った母材間でアークを飛ばし、その中に溶加材を挿入する方法で「**ティグ溶接**」(Tungsten Inert Gas)と呼ばれています。

この方法は高品質な継手が得られるのですが、作業能率の悪さとガスが高価なため、競合する被覆アーク溶接が得意でない、アルミ・銅などの非鉄金属やステンレス鋼の分野で多く使われます。また、極小電流でもアークが安定しているので薄板溶接にも向いています。

スプレーガン型ミグ溶接トーチ

このティグ溶接を能率的にとして出てきたのが「**ミグ溶接**」(Metal Inert Gas)です。溶加材の丸棒をコイル状のワイヤに替えて電極とする工法で、これには溶接トーチを手で持つ半自動と、走行車に取り付けて等速溶接させる自動溶接があります。

一方、ティグ溶接が考えられた時期に、当然のことながら、シールドガスとして安価で入手容易な炭酸ガスを使うことも試みられています。しかし、その結果はアークで炭酸ガスが分解され、これによる酸素で溶着金属の酸化が起こり、溶接には不向きであるとする研究結果(1926 年)が出たため、以後しばらく中断します。そして、1953 年に Mn や Si などの脱酸剤を適当に含んだワイヤを使うと、溶接できることがわかり、その後「**炭酸ガスアーク溶接**」は安価で高能率な工法として脚光を浴びはじめます。

溶接材料であるワイヤとガスの組み合わせとしては、①鉄線をコイル状にしたソリッド・ワイヤと炭酸ガス、②ソリッド・ワイヤと炭酸ガスに酸素かアルゴンを含んだ混合ガス、③チューブ状のワイヤ内にフラックスを詰め込んだフラックス入りワイヤと炭酸ガスと云う三通りの組み合わせがあります。

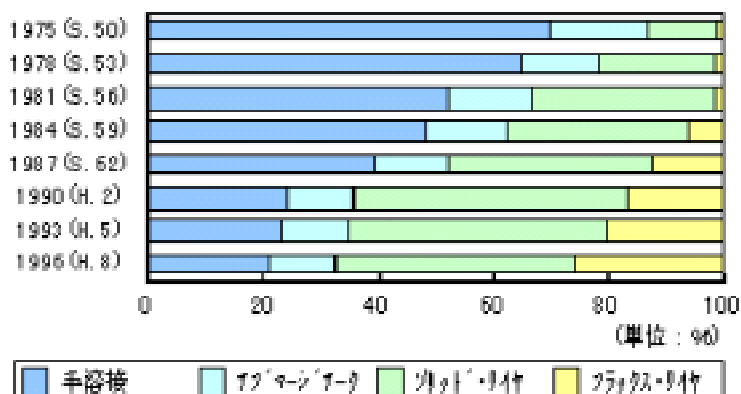
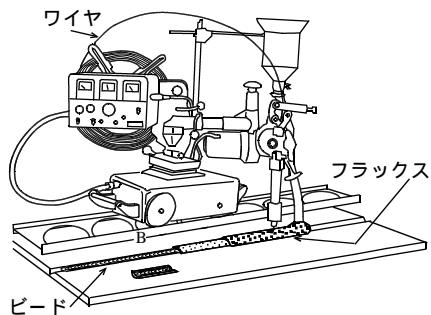
マグ溶接での代表的なワイヤ・ガスの組み合わせ三工法

一般的なのは①ですが、②はスパッタが少なく、立向姿勢での溶接も容易にでき、美麗なビードが得られるのが特徴です。しかし、ガスが高価なため少し割高となります。③も①よりワイヤは少し割高となりますが、全姿勢での溶接が容易となります。それに加え、ソリッド・ワイヤより種々の成分添加が容易にできますので、錆やペイントに強いワイヤとか、高能率のワイヤなど、特化専用化されたものが多く市場に出てきました。このため、最近は①②に比べ次第に使用度合いが増えているようです。

これらは前の不活性ガスに対して活性ガスを使っていますので「**マグ溶接**」(Metal Active Gas)と総称されていますが、一部では開発時の名残か、依然として炭酸ガスアーク溶接と呼んでいることもあります。

溶接材料の年間生産量の構成比(1975-1996)

わが国での国産一号機は 1956 年に登場しています。

これが自動車産業をかわぎりに、適用域を急速に拡げはじめるのは、1959 年頃からです。そして、国内溶接材料の年間統計によると、1985 年にマグ溶接用ワイヤの生産量は、それまで首位の被覆棒を追い抜き、その状況は現在も続いています。

ところで、前にもどって裸棒アーク溶接が実用化されていた時代に、やはりコイル状のワイヤのみを使い、連続溶接する方法が適用されていました。この方法では当然のことながら溶着金属は空気にさらされて硬化しますが、これがかえって表面硬化の要求される肉盛溶接に向いていたこともあり、この面では伸びていたようです。

サブマージアーク溶接のヘッド部

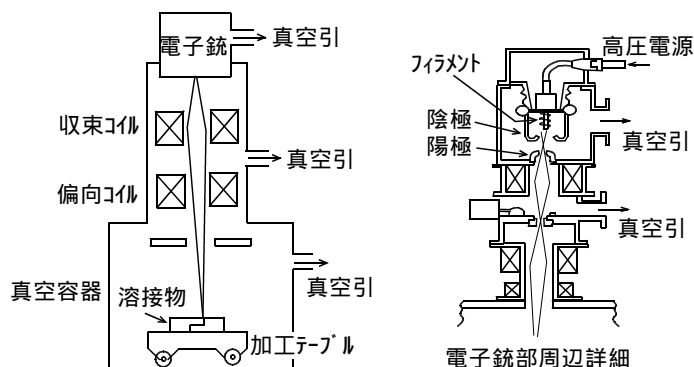
しかし、構造物継手用としては不向きで、被覆アーク溶接での被覆剤に相当するものがなければとなり、種々の工夫が試みられていました。

その一つにフラックスを粒状にし、事前に溶接箇所に散布し、裸ワイヤで連続溶接する方式が 1935 年に考案されています。

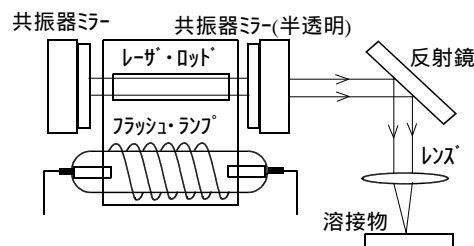
この方法は、表面が美麗で 1000A を超える大電流が使え、粒状フラックスでアークが見えないため「**サブマージアーク溶接**」(Submerged Arc)と呼ばれ、長い溶接線用として普及します。その後、中厚板溶接向きの代表的な自動溶接機として発展し、今日に至っています。わが国での導入は 1950 年頃からです。

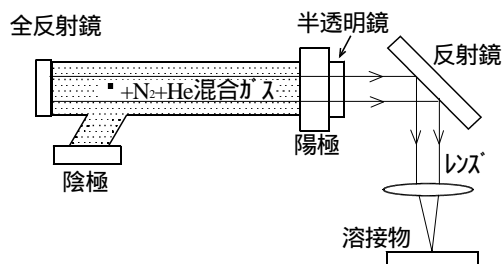
○微細集中熱などによる接合方法(**電子ﾋﾞｰﾑ溶接・ﾚｰｻﾞ溶接**)

電子ビーム溶接装置の概要

溶接ビード幅が 10mm 以上、溶込み深さが 3mm 程度までと言う一般的なアーク溶接に対して、幅はわずか 2mm 程度で、深さが 15mm 以上になる深溶込みで精密溶接法に類する「**電子ビーム溶接**」が 1954 年に出てきます。

真空中で陰極フィラメントから出る熱電子を高電圧で加速し、レンズで絞って溶接箇所に照射し融合接合する方法です。溶接される品物が真空室に入る程度の大きさであること、溶接速度は 2 M/分以上と速いのですが、真空引きに時間のかかること、それに設備費が高価であるなどの難点はありますが、機械加工済みの歯車間の溶接に適用されるなど､溶接熱による寸法狂いがアーク溶接より少ないため、小部品の精密溶接に向いています。国産溶接機が登場したのは 1960 年です。

これに対して真空室内ではなく、大気中でも精密溶接が可能として出てきたのに「**レーザ溶接**」があります。レーザ光が金属加工に使えそうだとする実演は 1960 年に行われていますが、それがレーザ溶接機としてわが国に入ってきたのは、その 4 年後です。

共振器ﾐﾗｰ　共振器ﾐﾗｰ(半透明)　反射鏡　ﾚｰｻﾞ･ﾛｯﾄﾞ　ﾌﾗｯｼｭ･ﾗﾝﾌﾟ　ﾚﾝｽﾞ　溶接物

固体レーザ(YAG)装置の原理

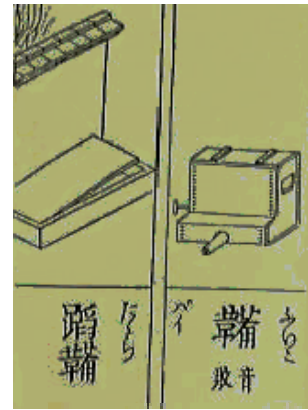
溶接装置の基本型には、2mm 以下の薄板向きの固体の YAG レーザと、それより厚板に使える気体の炭酸ガスレーザがあります。共に電子ビーム溶接に比べ、溶込みの浅く、数 mm 留まりであること、大気中溶接なので欠陥の発生率が多少増えるなどが欠点としてあげられています。

炭酸ガスレーザ加工装置の原理

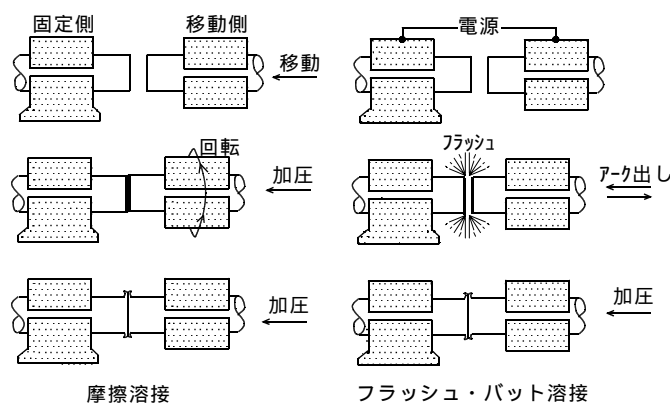
しかし、鏡を使うことでレーザ光の方向を容易に変えられるなどがあり、特に YAG レーザではガラス・ファイバーを使うとチューブでの三次元の移動もでき、ロボット溶接への応用を含め、多くの可能性を秘めたこれからの溶接法の一つではと考えられます。

○加熱・加圧による接合方法(**鍛接・ﾌﾗｯｼｭﾊﾞｯﾄ溶接・抵抗溶接・摩擦溶接**)

ろう付けと同じで古くからある接合法に「**鍛接**」があります。赤熱した二つの金属を重ねて槌打ち加圧で接合する方法で、事前に硼砂などのフラックスを塗布し、加熱でできる接合表面部の酸化物の融点を下げて取り除き加鍛しますが、鋼の場合は元々酸化物の融点が低いため、フラックス無しでも接合できるとされています。

タタラとフイゴ

加熱方法は初期は炭火で、ろう付けより高温を必要としますので、送風装置として製鉄用の足踏みタタラを小型化した、片手こぎのフィゴが多く利用されていました。これに使われる木炭も製鉄用の堅木炭ではなく、1000 ℃程度の最高温度が得られれば十分なため、入手の容易な松、桐、柳などの軟木炭で、目的が達せられていたとあります。

鍛接の代表的なものでは刀剣の製造が知られていますが、わが国ではこの技術は古墳時代(300 年頃)に百済から導入され、平安時代前期(900 年頃)にほぼ技術的に完成したようです。その後は農機具などの製造が主流となりますが、鉄は貴重品であったため、破損するとそれを鋳つぶし、新しい鉄と混ぜて可鍛するリサイクル適用が多かったようです。

固定側　移動側　移動　電源
回転　加圧　フラッシュ　アーク出し
加圧　加圧
摩擦溶接　フラッシュ・バット溶接

摩擦溶接とフラッシュ・バット溶接の作業工程

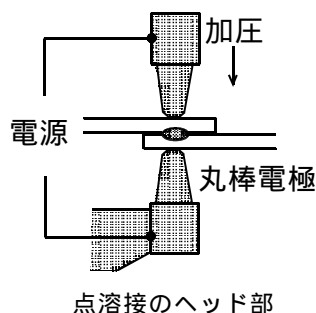
今日では槌打ちではなく、ローラプレスを使って異なった金属板を接合するクラッド鋼製造分野などに、この技術が活かされています。

同じく加圧・加熱の方法ですが、エネルギー消費を最小で済ませ接合できるのに「**摩擦溶接**」があります。

丸棒の片方を固定し、一方を高速回転させながら接触させ、その摩擦熱で接触面が加熱溶融すると、回転を急停止し再加圧で目的を達する方法です。

摩擦溶接の接合部

100mm φの太さまで溶接可能とありますが、市販溶接機を見ますと 30mm φ以下での利用が多いようです。この方法は 1956 年に特許が出て、わが国には 7 年後に輸入されています。

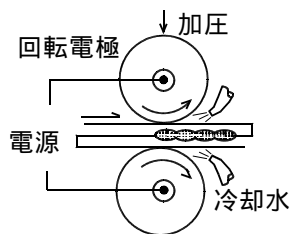
同種のもので電気エネルギーを使う方法があります。接合する両者を極とし、ショートさせてスパークを出し、それで溶けた先端を瞬時に加圧し目的を達する「**フラッシュバット溶接**」です。この方法は古く 1885 年に発明され、わが国へ 1907 年に電球製造ライン一式を輸入した際に、装置内の一機器として 3mm φまでの導線用溶接機が含まれていたのを最初としています。現在では、一段と大がかりとなり、シャフト類の丸棒や鉄筋、それにレールの接合などに適用されています。

点溶接のヘッド部

これ以外では、アーク溶接と並び最も利用度の高い溶接として「**抵抗溶接**」があります。「**点溶接**」とか「**スポット溶接**」(Spot)とも呼ばれていますが、具体的には、接合する部材を重ね、丸棒電極で上下からはさみ、加圧と瞬時の高電流による抵抗熱により、10mm 径程度の溶接点(ナゲット)ができ接合となります。

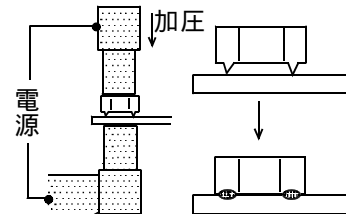
適用板厚は 0.4 ～ 3.2mm 程度の薄板で、例えば板厚 1mm のものでは 9000A、10 サイクル程度のエネルギーを必要とします。

この方法は 1888 年に炭素電極で特許が出ていますが、これが今日のような硬い銅製の丸棒電極になり、自動車産業での適用が増え出すのは 1920 年頃です。なお、国産一号機は 1922 年に発表されています。

点溶接断面のナゲット部

加圧
回転電極
電源
冷却水

シーム溶接のヘッド部

この丸棒電極を、回転円盤電極に替えて点溶接を連続的に結びつけたのに「**シーム溶接**」があります。この方法は漏れのないため、薄板構造の小 型容器類への利用度は高いようです。

また点溶接の別の方法とし て、接合する片側に小突起を付け、この部で加圧通電させて目的を達するのに「**プロジェク　ション溶接**」があります。こちらも自動車などの薄板構造で、多量生産的にナットなどを植え付け固定する分野に適用されています。

プロジェクション溶接

○ 接合方法選定の目安(接着・ﾎﾞﾙﾄ締めと溶接・適正溶接法)

これまで見てきた各種の金属接合法に対して、具体的に溶接したい製品が出てきた時に、何れの方法が適当なのかを考えてみます。

まず、接着は作業が簡便で熱変色もありませんが、接合強度上の不安が残るため、軽量物用ハンガーや金属ラベル類などの弱強度箇所への適用となるようです。強度箇所に使われる場合は点溶接などとの併用で、接着は漏れ防止のみを分担する使われ方がされています。

鋲接は、作業時の騒音と非能率面に加え、継手効率が溶接の 100%に対して二列鋲で 60-75%と低く、重ね代があるため総重量が増えますので、構造物などではほとんど姿を消しています。しかし、小物用のかしめ類は接合の確実さと熱変形や変色がないため、装飾品や日用品の取っ手に見られるように、点溶接と競合しながらも採用が続いています。

鋲接に変わるボルト締めは、継手コストは溶接より割高な上に、鋲と同じ継手効率しか得られないのですが、手持ち工具類のみで作業ができる軽便さと、熱変形が起こらないため、一般家屋内の金属接合箇所から構造物までの広い適用域を持っています。

特に大型構造物では、溶接部より拘束力が強固でないことで、日照などの温度変化による構造物の伸縮を吸収してくれますので、工場継手ではなく、現場継手の急所急所の箇所で溶接と併用した構造となっていることがあります。

ボルト締めと溶接併用構造物

次いで溶接で施工をと考えた場合をみましと、まず溶接機はあるのか、溶接技能工はどうか、それに溶接物が板かパイプか、それとも機械加工部品か などの基本的な確認がいります。しか し、はじめてで何れの溶接方法を選ぶかとなりますと、普通は一番普及度の高い被覆アーク溶接かマグ溶接でとするのが、無難な選択ではと考えます。

溶接物が板の場合、薄板ではアークを出すだけで穴があくなどのことがあり、ガス溶接、ろう付、点溶接が選ばれます。逆に厚板では溶接量が多くなりますので、能率的な大電流の使えるサブマージアーク溶接などが選択肢の一つになります。

そして、極厚板に類する鋳鋼品などの場合は、溶着金属内部で欠陥の発生率が少なく、一気に溶接のできるエレクトロ・スラグ溶接などをとなりますので、板厚が溶接法選択の一つの目安となります。

エレクトロ・ガス機

なかには同じ板厚でも、立向姿勢しかできず、比較的狭い板厚範囲向きなのですが、数米に及ぶ長い溶接線に適する自動溶接法としては、エレベータ装置を組み込んだエレクトロ・ガス溶接が使われることがあります。

溶接法とその適用性

適応性 ＼ 溶接法	板厚(mm)			継手			費用	
	薄板(3以下)	中板(3-25)	厚板(25以上)	突合せ溶接	すみ肉溶接	重ね溶接	設備費	溶接費
酸素ｱｾﾁﾚﾝ溶接	◎	○	▽	◎	◎	△	小	中
ろう付	◎	○	▽	△	△	◎	小	中
被覆ｱｰｸ溶接	○	◎	○	◎	◎	△	小	小
ﾏｸﾞ溶接	△	◎	○	◎	◎	△	中	小
ｻﾌﾞﾏｰｼﾞｱｰｸ溶接	△	◎	◎	◎	◎	▽	中	小
ﾃｨｸﾞ溶接	◎	○	▽	◎	◎	△	中	中
ﾐｸﾞ溶接	○	◎	△	◎	◎	▽	中	中
ｴﾚｸﾄﾛｽﾗｸﾞ溶接	▽	△	◎	◎	○	▽	中	小
ｴﾚｸﾄﾛｶﾞｽ溶接	▽	◎	○	◎	○	▽	中	小
電子ﾋﾞｰﾑ溶接	◎	◎	○	◎	◎	◎	大	中
ﾚｰｻﾞ溶接	◎	○	▽	◎	◎	◎	大	中
ｽﾎﾟｯﾄ溶接	◎	○	▽	▽	△	◎	中	中
摩擦溶接	○	○	▽	◎	▽	▽	中	小
ﾌﾗｯｼｭﾊﾞｯﾄ溶接	◎	○	△	◎	▽	▽	大	小

◎:最適　○:適当　△:やや適当　▽:不適当

溶接物がパイプ の場合、これも薄ものではろう付かガス溶接、それに継手品質の高いティグ溶接が選ばれます。中板ではやはり被覆アーク溶接かマグ溶接での施工となりますが、回転ジグと組み合わせての自動化装置でとする場合も多いようです。これが小径パイプになりますと、内面側からの溶接ができませんので、片側からの溶接で裏ビードが美麗に出せるティグ溶接が初層のみに使われ、その後の層は能率的な他の溶接法でとする組み合わせ溶接が一般化しています。

むくの丸棒の場合は、作業量が少ないと普通の被覆アーク溶接かマグ溶接が使われ、マスプロ製品では設備投資はかさみますが、摩擦溶接とかフラッシュ・バット溶接が採用されます。しかし、この方法の適用も、一般的にはせいぜい 50mm φ程度で、それ以上の径になりますとマグ溶接を組み込んだ自動化装置でとなっているようです。

初期の電子ビーム溶接装置

歯車などの機械加工済み部品間の溶接では熱変形を嫌いますので、熱集中の高い電子ビーム溶接か、レーザ溶接の適用となります。レーザでの溶込みはせいぜい数ミリ止まりですが、電子ビーム溶接となりますと 20-40mm も容易ですので、これも板厚が適用区分の一つの目安になるように思われます。この両方法も、熱を加えての加工ですから変形量はゼロとはなりません。

レーザ溶接断面(板厚5㎜)

特に、開先仮付けに相当する部品の勘合形状やジグ次第で、結果的に出る変形量に差がありますので、この点の工夫が一つのポイントとなります。

以上が鋼を対象とした溶接法の選択例ですが、それ以外の素材であるステンレス鋼になりますと、フラックス入りワイヤを使うマグ溶接かティグ溶接、それにミグ溶接となりますし、非鉄のアルミや銅合金の場合は、ティグ溶接とミグ溶接からの選択が多いようです。

溶接の基本編

溶接は冶金・構造・電気など分野の一部が、複合化されて成り立っている技術ですから、溶接を知るためには関連部門での基本技術の理解が欠かせません。

特に溶接される材料の性質と、それに溶接熱が加わるとどのような影響を継手およびその周辺に与えるのか、そのために継手形状はどうあるべきかなど、溶接としての性能や性質の確認が重要となります。

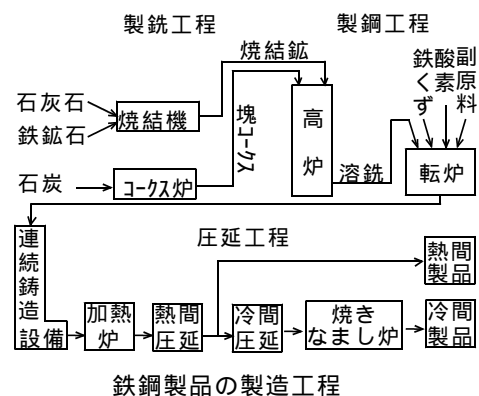
それに加えて、溶接に使うエネルギーについても、その選択と使い方で溶接品質や生産性、安全性に差異が出ますので、この面についての知識も要求されます。

◎溶接での冶金的なこと

溶接される材料には鉄・非鉄など種々のものがありますが、ここでは最も一般的な軟鋼を取り上げます。

まずその製鋼法は、単に溶かして延ばすだけでなく、図に示しますように成分調整と溶解、転炉による酸化作業での脱炭などを経て、これに圧延・熱処理が微妙に組み合わさった工程群からできています。

これは、丁度昔のたたら製鉄法に刀鍛冶の作業手順が加わり、工業化されたもの考えて良さそうな複雑な工程となっています。

鉄鋼製品の製造工程

炭素鋼の種類

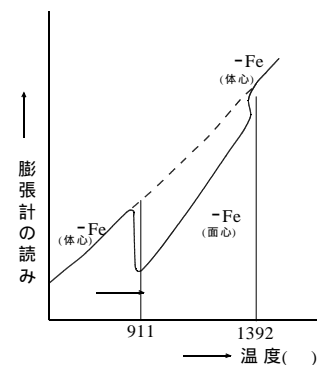
種　類	炭素含有量	製　品　の　例
極軟鋼	0.12%以下	自動車・洗濯機類の薄板
軟鋼	0.12～0.30%	一般構造材・管・針金
硬鋼	0.30～0.50%	電車の部品材・ばね
最硬鋼	0.50～0.90%	レール・ワイヤロープ
炭素工具鋼	0.60～1.5%	刃物類・ヤスリ

そして出来上がった製品はとなりますと、純鉄に最も影響力を与える炭素をはじめとした微細元素の添加、高温からの冷却速度差による結晶仕組みの変化、それにプレス度合いの違いによる結晶粒の大小などの差異で、最終製品では硬さやねばりなどで大きく差が出てきて、表のような種々の目的に合った素材が得られることになります。

溶接はこのような鋼に熱を加えて継ぐ作業となりますので、溶接熱履歴の影響が重要な意味を持つことになります。

○熱による顕微鏡組織の変化(ｾﾒﾝﾀｲﾄ・ｵｰｽﾃﾅｲﾄ・ﾌｪﾗｲﾄ・ﾊﾟｰﾗｲﾄ)

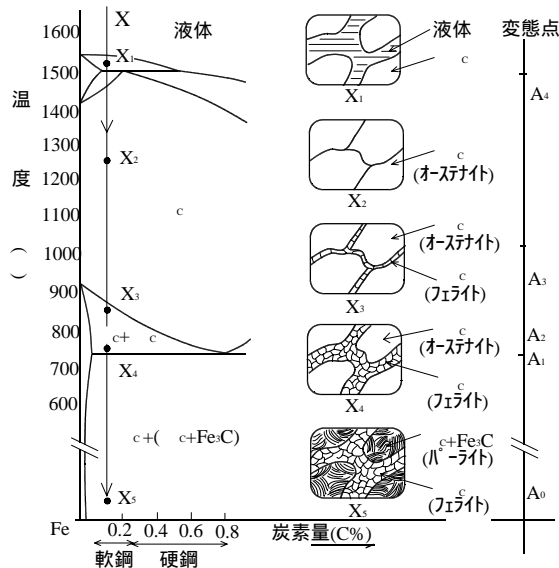
鉄が液体から冷えて常温に至るまでの結晶の仕組みの変化について知る手順して、はじめに純鉄の高温よりの冷却過程を例に観察します。液状の純鉄を 1600 ℃まで冷やしますと固体の**δ鉄**が出てきて、液体から固体へ変化しますので、当然体積は縮小します。

そして、1400℃近くに下がりますと、**δ鉄**が**γ鉄**に変態するため、体積は一様な下がりではなく、階段的な急速な収縮となります。ここが一般常識と変わっている点で、理由は鉄の結晶格子が体心から面心立方に変わったことによる現象です。

純鉄での冷却と収縮

さらに910℃近くにまで下がると、今度は再び体心立方格子の**α鉄**に変態しますので、ここからの体積は元の一様な収縮線戻るために、急速膨張します。そしてα鉄での収縮状態が常温まで続きます。このような鉄の局部的膨張や収縮の不規則性が溶接の場合では、変形に大きな影響を与えることになります。

Fe-C系の状態図と顕微鏡模式

次いで、この純鉄に0.1～0.25%の炭素と二三の微量元素が入っている、構造用鋼として最も多用されている軟鋼について同様な観察をします。

この変態を知る前提として、純鉄の炭素吸収量の最大はδ鉄で0.08%、γ鉄は2.1%、そしてα鉄は0.02%と差のあること、そしてそれ以上の炭素があると、それぞれの純鉄内では取り込めず、例えば常温ではα鉄に取り込めない炭素**は**、別の固い鉄と炭素の化合物であるFe_3C(**セメンタイト**)になりα鉄とセメンタイトの複合共存状態になることを知っておいて下さい。

そこで、液状の軟鋼成分のものを冷やしますと、Fe-C状態図ではX%炭素を含んだX線上を下ることになり、X_1の地点では液相とδ相の二相混合で、1500℃まで降りると、γ鉄が炭素を吸収して、強くてねばい非磁性のγ_c鉄(**オーステナイト**)となります(X_2)。

さらに冷えて900-800℃では、α鉄が炭素を吸収してできた、柔らかく常磁性のα_c鉄(**フェライト**)と、それまでのγ_c鉄とが共存する複合状態になります(X_3、X_4)。もう一段冷えて700℃前後まで下がりますと、α_c鉄に加えα_c鉄とFe_3Cが層状になった**パーライト**に変わり、この二者が共存する状態に変わります(X_5)。したがって常温でわれわれが知る軟鋼の顕微鏡組織は、このフェライトとパーライトの複合物として観察されることになります。

このように鉄での変態点には、δ鉄⇌γ鉄の変態(**A_4**)、γ鉄⇌α鉄の変態(**A_3**)、強磁性⇌常磁性の変態(**A_2**)、それに焼き入れ時などに関連するγc鉄⇌パーライトの変態(**A_1**)などがあります。それぞれの変態の出る温度点は、冷却時と加熱時で多少ずれますし、微量成分の添加でも微妙に変わってきます。

○熱処理と顕微鏡組織(焼き入れ・焼きもどし・焼きならし・焼きなまし)

前項で鋼の冷却過程で種々の変態の起こることを知ったのですが、これを普通の空冷ではなく、水冷や油冷などの変わった熱処理にしますと、本来の温度で起こり得た変態が飛ばされ、高温での組織状態が変質して常温に持ち込まれるなどが起こります。

例えば、750 ℃近くに加熱した丸棒を徐々に冷却していきますと、収縮して短くなるはずですが、A_1 変態点でオーステナイトがパーライトに変わるため一時的に膨張し、それ以後はフェライトとパーライトの

冷却速度差での熱膨張曲線の変化

炭素鋼で析出する顕微鏡組織での性質

フェライト		Fe。純鉄。α鉄。 軟い。強磁性体
オーステナイト		γ鉄の炭素固溶体。 強靱。非磁性体。
マルテンサイト		α鉄の炭素固溶体。 硬く脆い。
パーライト		Fe+Fe3Cの層状混合物。 硬い。
ソルバイト		Fe+Fe3Cの粒状混合物。 高温焼きもどし組織。強靱。
トルースタイト		Fe+Fe3Cの微粒状混合物。 低温焼きもどし組織。耐摩耗。

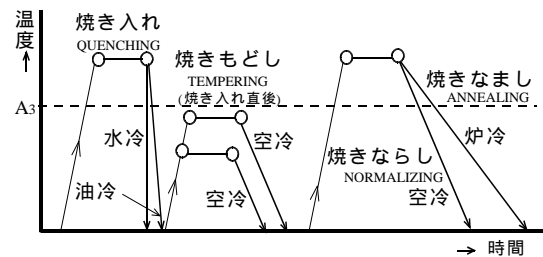
複合組織で収縮のみとなります(A)。

ところが、同じ丸棒を 750 度の高温から、毎秒 450 ℃以上の急速冷却をしますと、700 ℃近くでの膨張は起こらず、そのまま収縮を続けて 200 ℃近くなって初めて膨張が起こります。そして、その膨張状態が常温まで続きます(B)。

この低い温度での変態で出来あがった組織は、炭素吸収量の少ないフェライトが、オーステナイト並に無理に過剰な炭素を含んだままでフェライトになったことでできた硬い組織で、**マルテンサイト**と呼ばれています。

このように熱処理方法の差でも、上表に示すような種々の顕微鏡組織のものが得られますので、使用目的に合った硬さやじん性を得るために最高保持温度と冷却速度を変えた独特の処理が行われます。

熱処理の方法

具体的な熱処理の方法としては、A3 変態点温度の上下を最高保持温度として、冷却速度を変えることで、焼き入れ、焼きもどし、焼きならし、そして焼きなましと呼ばれているものがあります。

焼き入れは、先の丸棒の冷却で述べましたように、A_3 変態点以上で加熱したものを急冷することで、高温時の組織をそのまま常温に持ち込む方法で、水冷油冷などの冷却速度でに応じて、オーステナイト、マルテンサイト、トールスタイト、ソルバイト、パーライトなどの組織が析出し、冷却速度が速いほどマルテンサイト分が増え、硬度が高くなります。溶接ビードでの熱影響部の硬度が周辺より上がることのあるのはこの効果です。

多層溶接の焼きならし部(白色)

焼きもどしは焼き入れ直後に行う熱処理方法で、焼き入れで硬くなり過ぎたものを適当な硬さまで落とし、その見返りとしてじん性を高めることを目的としています。

焼きならしは、組織を改善し結晶を微細化することでじん性の向上を狙った熱処理です。溶接では大電流による単層溶接より、多層溶接のほうがじん性が良いとされるのは、後層の溶接熱が前層ビードに対して、この焼きならし効果を与えているのが一因です。

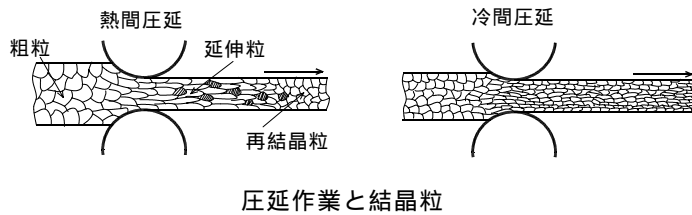
焼きなましは焼鈍とも呼ばれ、外力による歪みを除き、硬度を下げその後の機械加工などを容易にするためです。溶接の場合でも、溶接熱でできた不均一の硬度をならすことを一つの目的としています。具体的には、ボイラなどの極厚板の容器では、溶接後に炉内で 650 ℃を板厚 25mm あたり 1 時間保持し、その後炉冷する工法が採られています。

○結晶粒と圧延(加工硬化・再結晶温度・熱間加工・冷間加工)

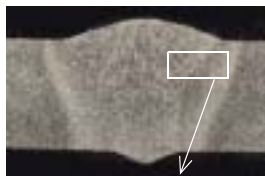
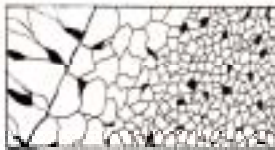
鋼の性質は、これまでの顕微鏡的組織だけでなく、固化した時の結晶粒の大きさや形状の影響も受けます。金属には一般的に加熱すると、あるところで急に結晶粒が大きくなる温度があり、この温度以下で叩いたり延ばしたりしますと、結晶内で歪みが増えて次第に硬く延

びにくくなる、**加工硬化**が起こります。

刀鍛冶でもみられますように、この加工硬化したものを再び加熱しますと、全体形状はそのままで結晶内の歪みが取れて、再結晶で軟化し元の性質にもどります。これが**再結晶温度**で、その金属特有の融点の約半分がその温度だとされています。これらからして、常温で行う加工を**冷間加工**、再結晶温度以下のを**温間加工**、そしてそれ以上の温度のを**熱間加工**と呼んでいます。

圧延作業と結晶粒

軟鋼板の製造過程では、圧延段階に入りますとプレス圧延による**熱間加工**が行われます。この工程では粗大な結晶粒は破断ではなく、圧縮微細化され、空洞は圧着し、偏析や介在物は分散し、伸びや衝撃値が向上することになります。

950℃より炉中冷却　1100℃より大気中冷却　700℃以下で可鍛
(C:0.22%,Mn:0.45%,Si:0.002%・倍率100・白地はﾌｪﾗｲﾄ、黒地はﾊﾟｰﾗｲﾄ)

軟鋼での顕微鏡組織

そしてこのまま製品になるものと、さらに強さを高め、機械加工性や表面の仕上げをよくし、出来上がりの板厚寸法公差を精密にするために、これもプレス圧延による**冷間加工**が行われ、結晶粒を一段と微細化した製品にする工程もあります。

溶接部での結晶粒

溶接の場合は、溶着金属は低温の融合線での核の生成にはじまり、これから樹枝状の結晶が伸びて、未擬固部に不純分やガスを放出しながら成長してビードとなり、プレス的なものは無く加熱冷却のみで出来上がりますので、結晶粒は少し粗いものとなります。一方、融合線より母材側も溶着金属の再結晶温度以上の熱を受けますので、局部的に結晶が粗大化した溶接熱影響部と呼ばれる部分ができてしまいます。

○鋼材内の添加元素(微量成分・添加効果)

鋼材購入時に添付されるミルシートから成分を見ますと、炭素の他に Mn、Si などの量が記載されています。これらの元素には鉄鉱石の段階からの不純分で取り除けなかった P、S や、より良い鋼材とするために意識的に添加された元素があり、それらは表に示すような効果を与えます。

軟鋼での微量成分の効果

C	多いほどセメンタイトが増えて硬度が増し、抗張力と脆性が大。延性は減少。
P	鉄の粒子を粗大化。常温加工で衝撃値を著しく低下。偏析の傾向大。
S	硫化マンガンが網状となって鉄の粒子間に現れる。赤熱加工する時脆化。偏析の傾向大。
Mn	炭化物を作り強さを与える。Sの量を中和する。脱酸剤で酸素を除き、鉄粒を微細化しじん性よい。熱処理次第では亀裂の原因に。
Si	脱酸剤。鋼の気泡を少なくする。

この表以外で影響を与えるものに鋼材内に残っているガスがあります。酸素は高温加工で材質をもろくしたり、衝撃値を低下させますし、窒素も好まれません。溶接の段階では水素の入り込むことが最も嫌われます。これは溶接割れの主因が水素だとされており、溶接作業時に溶接棒の乾燥や開先内の清掃が強調されるのはこのためです。

その他で、より高級な鋼の製造の場合、それぞれの役割を担った微量元素が添加されてい

微量元素の添加により高まる性質

Al	耐酸化性・細粒化	Ni	耐熱性・じん性
Cr	耐食性・耐熱性	Mo	耐熱性・硬度
Mn	耐摩耗	V	強度・強度
B	焼き入れ性	Nb	耐熱・細粒化
Cu	耐食性	Ti	耐食性

ます。その量と組み合わせは微妙で、薬がさじ加減で毒にもなるように、その量を誤ると鋼のぜい化を引き起こすことになります。

したがって、この種材料を溶接する場合は、それに合う溶接材料の選択と、予熱を加えるべきか入熱量をどこまで抑えるかなどの事前調査が重要となります。

○溶接材料(主脱酸剤・ｲﾙﾐﾅｲﾄ・ﾗｲﾑﾁﾀﾆｱ・高酸化ﾁﾀﾝ・低水素・鉄粉酸化鉄)

溶接材料の基本として、溶着金属は母材と同質であることを狙いますが、鋼のような圧延工程がありませんので、それに見合う成分調整がされています。

ワイヤと溶着金属の成分

		C	Si	Mn	P	S
ワイヤ(YGW12)		0.04	0.88	1.48	0.010	0.018
溶着金属	CO_2溶接	0.05	0.54	0.94	0.011	0.019
	$80Ar+20CO_2$溶接	0.05	0.70	1.23	0.010	0.019

それにアーク熱で成分の一部が金属ヒュームとして飛散したり、酸化作用で消耗したりもしますので、その不足分を補うように特定成分が増量されます。それに、アークの保護や安定を良くする成分を加える配慮もされています。

一例をあるマグ溶接小電流用のワイヤについて、ワイヤとそれを使って溶接した溶着金属の成分をみたのが右上の表です。炭酸ガスのみで溶接した場合、Si と Mn 量の減少が目立ちますが、これは CO_2 が分解し CO と O になり、この O が Si、Mn と結びつくためです。したがって、ワイヤ製造時に**主脱酸剤**として、この種成分は余分に組み込まれ、溶着金属内での減量分が補給するようになっています。

同じワイヤで、今度はアルゴン入りの混合ガスで溶接した場合は、炭酸ガス量が少ないためか、Si、Mn の減量度はさほどではありませんで、これらの成分が溶着金属の中で必要以上に増えてしまいます。こうなると溶着金属としては、強度が上がり過ぎ、靭性の劣化傾向が出てきます。このようなことから、ワイヤと雰囲気ガスの組み合わせも重要で、カタログによる指示を忠実に守る必要があります。

被覆棒についても、ワイヤに相当する心線で同様な配慮がされていますが、それよりも被覆剤での配合調整のほうが容易ですので、その成分が、一段と重要な役割を果たしています。

被覆剤原料の機能

	アーク安定	スラグ化	酸化剤	ガス発生剤
カオリン(アルミニウム珪酸塩)	○	◎		
タルク(マグネシューム珪酸塩)	○	◎		
酸化チタン	◎	◎		
イルミナイト	◎	◎		
酸化鉄	○	◎	◎	
炭酸カルシューム	◎	○	○	○
二酸化マンガン		◎	○	
珪砂		◎	○	

◎:主作用　○:副次作用

具体的には、①溶滴をより小さくしてアークを安定させる。　②大気中の酸素、窒素の侵入を妨げる。　③溶融点が低く、粘性のあるスラグを作り、溶着金属の凝固冷却を緩やかにする。　④溶着金属の脱酸精錬を行う。　⑤スラグの除去を容易にし、美麗なビード形成にする。　⑥絶縁剤を加え、作業員の感電事故を防止するなどと多岐の目的を持って配合されます。具体的にこれらを満足させる原料の一例としては、右表のようなものが使われます。

この被覆剤の種類については、JISで系統的に溶接棒が分類されていますので、その内の 代表的なのを二三紹介しますと、**イルミナイト系(D4301)**は、30%のイルミナイト$(FeTi)_2O_3$ か砂鉄

を含んだ棒で、わが国で開発されたものです。アークはやや強めでスラグのかぶりが良く、能率の高い全姿勢用の棒です。

被覆アーク溶接棒の分類(JIS Z3211)

種類	被覆剤の系統	溶接姿勢
D4301	ｲﾙﾐﾅｲﾄ系	下･立･上･水平
D4303	ﾗｲﾑﾁﾀﾆｱ系	下･立･上･水平
D4311	高ｾﾙﾛｰｽﾞ系	下･立･上･水平
D4313	高酸化ﾁﾀﾝ系	下･立･上･水平
D4316	低水素系	下･立･上･水平
D4324	鉄粉酸化ﾁﾀﾝ系	下･水平
D4326	鉄粉低水素系	下･水平
D4327	鉄粉酸化鉄系	下･水平
D4340	特殊系	下･立･上･水平

ライムチタニア系(D4303)は、酸化チタン 30%に石灰石などの塩基性物質 20%を含んだ棒で、アークがおだやかな全姿勢用となっていますが、立向下進溶接での作業性も低水素系と同様に良好のようです。

高酸化チタン系(D4313)は、酸化チタンを 35%程度含み、非常に使いやすく、ビードも美麗で、化粧溶接棒とも呼ばれています。主として薄板用でスラグの粘性が高いので、立向下進溶接にも使えますが、耐割れ性が少し悪いとされています。

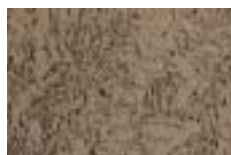
低水素系(D4316)は、炭酸石灰など塩基性の炭酸塩を主成分としています。被覆剤から発生する水素分が少ないため割れに対して強いとされ、主要継手や溶接割れ箇所の補修用に多く使われています。しかし、ビードが凸形になるなどで、他の棒より作業者の熟練度が要求されるようです。

鉄粉酸化鉄系(D4327)は、酸化鉄を主成分とし、これに鉄粉を加えた厚被覆棒です。下向、水平すみ肉溶接に適しており、一層溶接では等脚長三角形の美麗な溶接ができ、溶接棒を母材に接触させるコンタクト棒として使えます。

グラビティ溶接作業

したがって、すみ肉溶接専用の軽便で一人で数台は使えるグラビティ溶接での利用も高いものがあります。　これらの被覆棒での標準溶着金属のミクロ写真では、以下のような差異がみられます。

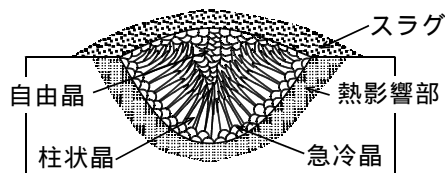
イルミナイト系

ライムチタニア系

高酸化チタン系

低水素系

鉄粉酸化鉄系

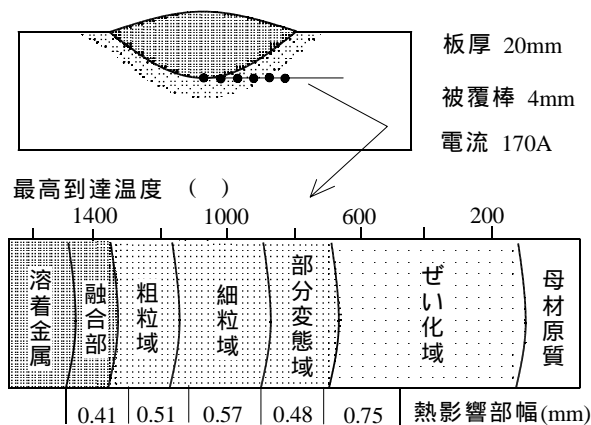
各被覆溶接棒による溶着金属の顕微鏡組織(×100)

○溶着金属とその周辺(溶接熱影響部・柱状晶・粗粒域・細粒域・鋼のぜい化)

溶接ビードのマクロ断面模式

溶接ビードの断面を磨き、薄い硝酸液で腐食させて出てくる表面をマクロ観察しますと、色の異なる**溶着金属**と、その周辺の母材側が帯状に少し黒く変色している**溶接熱影響部**がまず確認できます。

これを少し詳細に見ますと、溶着金属部は母材壁近くの**急冷晶**を起点に、細長く**柱状晶**が伸び、固化した順序を示すようにビード中 央上部へ成長しています。そしてゆっくりと冷やされ、最後に固まったと思われる箇所では、微細な**自由晶**が出来ています。

この溶接ビードは、母材と同程度かそれ以上の性質を持つことが要求されていますので、柱状晶などの粗い部分で予測される劣化などについては、母材にない微量元素を溶接材料に

添加して、補強する処置がとらています。

熱影響部の温度履歴と組織変化域

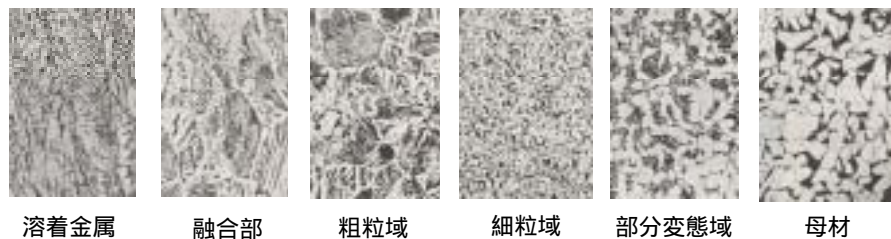
一方、母材側の溶接熱の影響を受けた溶接熱影響部については、場所により溶接での最高温度と、100 ℃近くに冷えるまでの時間で、変化の程度が異なりますので、少し細分して観察します。

この熱影響部の分け方は人により多少の差異があるようですが、まず 1200 ℃以上に加熱された**粗粒域**があります。結晶は粗大化し、硬さが増し、ぜい化の起こり易い箇所です。ミクロの硬度計で計ると比較的高い値が出てきます。

次いで 1000 ℃まで加熱されたのが**細粒域**です。この領域は鋼の組織改善のために行う焼きならしと似た温度履歴を示しますので、結晶は微細化しており、良好な靭性を示す箇所です。

さらに溶着金属から離れた 800 ℃付近の温度域は、鋼での変態温度と合致しますので、軟鋼の場合はパーライトのみに変態が起こり、それが球状化し靭性が劣化する範囲とされていますので、これと似た組織となり、**部分変態域**とされています。

そして一段と下がった 700-450 ℃の温度域は、鋼の内部応力除去や靭性改善のために行う焼きもどし作業と類似の温度履歴を示す範囲です。

溶着金属　融合部　粗粒域　細粒域　部分変態域　母材

軟鋼溶接部付近の顕微鏡組織(×100)

このため、本来は材質が改善されるはずですが、材料によっては逆にもろくなってしまう焼きもどしぜい化が起こりやすい温度範囲でもあります。したがって、この箇所では衝撃値が低く出てぜい化される率が高いのではとされていますので、ぜい化域と呼ばれています。

なお、この温度域はミクロ組織的な変化は見当たらず、マクロでも母材と同色を示しますので、分かりにくい箇所です。

このように熱影響部を微細に調べますと、部分的に劣化する箇所があるため溶接継手の性能は母材以下になるようにも思われますが、熱影響部の総幅でせいぜい 2-3mm 程度ですので、母材を含めた溶接継手としてマクロ的な機能としては、その影響は少なく、引張りや伸びを含んだ機械的継手性能試験では、母材と同等かそれ以上の数値を示すのが普通です。

したがって、軟鋼ではこの熱影響部に対して特別処置の必要はありませんが、板厚 50mm を超える極厚板や気温の低い場合は、ぜい化部から割れ出ることもありますので、仕様書などで、溶接に先立ち母材を事前にガスバーナか電気ヒータで開先部を加熱する予熱作業を施こしたり、溶接後に焼鈍するなどが行われる場合があります。

一般的に鋼が熱を受けてぜい化する場合として次表に示すものがあるとされています。これらは基本的には素材自体の問題で、溶接とは直接関係はないのですが、溶接での加熱によ

り素材の熱影響部周辺で古傷が復活するように出てきたり、溶接自体の欠陥と結びついたりすることが時々起こりますので、溶接継手で欠陥発生した場合、原因調査での一視点にされることがあります。

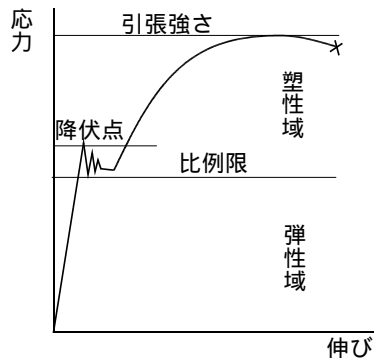
鋼で起こり得るぜい化の種類

ぜい性名	概略温度範囲	ぜい性の現象
低温ぜい性	0℃以下	温度低下と共に引張、硬さは増し、伸びは減少する。衝撃を受けるとガラスのようにもろくなる遷移温度がある。
青熱ぜい性	200-300℃	この温度範囲で、引張は高く伸びが低くなる現象。窒素によるとされている。
アルミぜい性	800-1000℃	アルミを加えて結晶粒度を微細化した鋼に出やすい。他の元素を微量添加し、窒素を固定するとなくなる。
変態ぜい性	850-1100℃	鋼で0.25%Cの場合に伸びが急激に減少する。
硫化ぜい性	900-1000℃ 1050℃以上	S量を少なくするかMnを加えMnSとすることで防げる。
酸化物ぜい性	900-1200℃	1200℃以上で精錬し、粒界の酸化物皮膜を破れば防止できる。Mn添加も有効。

◎溶接での構造的なこと

溶接構造では熱が加わっての接合となるため、内部応力や変形などが出てくることで、すみ肉継手とかスカラップなど独自の形状に伴う専門用語が多くあります。これらは全て数多くの試行錯誤の中から築き上げられたものですので、その経緯への理解と共に、より良き溶接構造への指向が一段と進むことが望まれます。

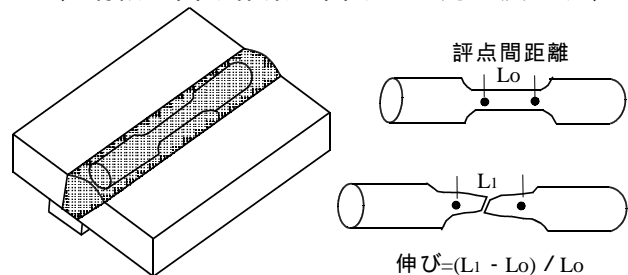
○軟鋼継手の強さ(降伏・引張・伸び・曲げ・衝撃)

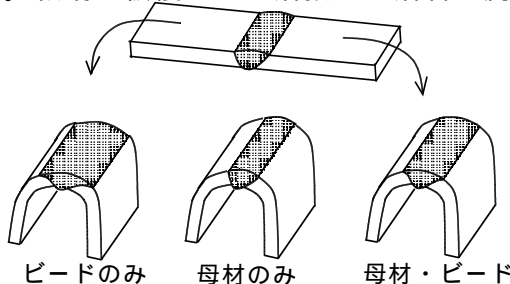
まず強度についてみます。軟鋼の針金を試験器で引張りますと、ゴムのように目に見えてとはいえませんが伸びてきます。そして、放すと元の長さにもどります。しかし、ある力以上に強く引張ると、力は増やしていないのに少し伸びてしまう領域があります。

応力
引張強さ
塑性域
降伏点
比例限
弾性域
伸び

鋼材の応力歪み線図

この時点になると、放しても元の長さには戻らずある程度伸びたままの状態となります。このときの力を**降伏強さ**と呼んでいます。これよりさらに強く引張ますと再び伸びて最終段階では少しくびれて切れてしまいます。この最大の力が**引張強さ**です。

軟鋼の被覆アーク溶接棒の溶着金属では、この値は降伏で 340N/mm^2、引張は 420N/mm^2 を下限としていますので、普通の軟鋼板より少し良い値となります。

鋼材の強さと云えば、普通は引張強さで表現されますが、降伏強さも重要で、これを基準に設計されている構造も数多くあります。また、鋼板の曲げ作業は曲げても元に戻らず、壊れない程度の力までとなりますので、降伏までの**弾性域**の上限から、引張強さまでの中間範囲(**塑性域**)での加工を意味します。

溶着金属試験での伸び計測

したがって、この域の広さを知ることで素材の曲げ加工の容易さ程度が判断できます。曲げることに関係して、どの程度伸びるのかも重要です。具体的には、事前に打った二評点間を引張試験の前後で計測し、これを**伸び**としてパーセント表示がされます。軟鋼の被覆アーク溶接での溶着金属では系統によって多少差があり 17-30%程度の数値を示します。

溶接継手の曲げ試験結果

次いで母材と溶接ビードを含んだ溶接継手で、**曲げ試験**を行いますと、①ビードのみが伸びる、②母材のみが伸びる、③多少の比率差はあるが、両者共伸びるとする、三通りの場合が起こり、その何れであっても規定の曲げ半径で180度曲がれば合格となります。

継手性能からしますと、母材と等質なことを示す③が望ましいのですが、普通は溶着金属の伸びが母材より高く設定されている場合が多いため、①になり易い傾向があります。②はビードが母材より硬くて伸びないことを意味しますので、溶接材料の選択で、より母材に近い伸びを示すものを探せばとなることもあります。

この曲げ試験では、3mm以上の長さの割れが出たり、それ以下の小さな割れでも合計が7mm以上になりますと不合格とされます。

溶接部曲げ試験での微細割れ

具体的に、この割れ出易い箇所としては、融合不良が原因の母材とビードとの境界部、溶接棒のつなぎ失敗などによるビード内部、それにまれですが溶接熱で硬化した母材部からなどがあります。

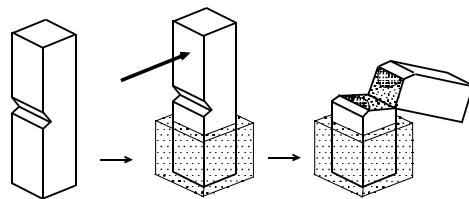
この境界部やビード内の割れは、溶接技能の未熟者ほど出しやすいものですから、溶接技能レベルを判定する有力な試験法の一つとしても取り入れられています。

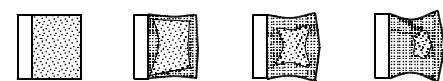
　溶接の場合、その他の試験としては**衝撃**が重要です。これは第二次大戦時、同一図面で米国各地の造船所において多量建造された戦時標準船で、冬期のみに理由のわからない破壊事故が続発したことがあります。

調査の結果、溶接が作った端部での僅かな切欠け箇所を起点に、これに気温低下加わると鋼材がガラスのように瞬時にもろく壊れる、**低温ぜい性破壊**であることが明らかになりました。

　その後の研究で、この現象を起させぬための目安として、低温での衝撃値が使われるようになり、鋼材と溶接材料が著しく改善されて、今日ではこの低温ぜい性による割れ事故は急速に少なくなってきています。

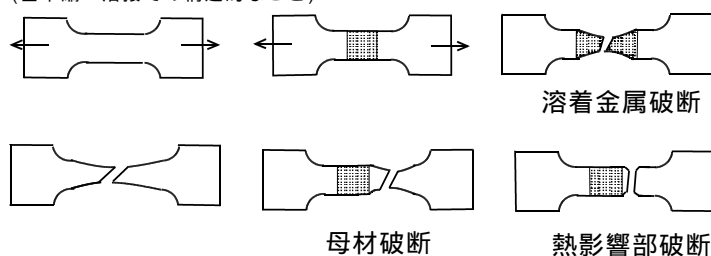
　衝撃試験は、溶接部から 10mm の角材を切り出し、中央に 2mm 深さのノッチの入ったシャルピー試験片が一般的で、これを規定の温度状態に保持し、下部を固定して荷重を横からぶっつけて、ノッチを起点とする破断時のエネルギーの値(J)で評価します。

　この試験では、同一継手から採取した試片でも温度とかノッチ形状の僅かのさで値がことなりますので、通常は 3 本の試験結果の平均値が採られます。

衝撃試験とその破面

　それらの試験後にそも破断面を見ますと、①のように粗い銀白色の**ぜい性破面**が多くでているようですと、衝撃値は低い値となります。通常は②か③ですが、④のように細かいねずみ色をした**延性破面**が増えていますと、衝撃値は高く出ます。

　このためか、低温用鋼材での溶接継手などでは仕様書で、衝撃値の結果だけでなく破面でのぜい性と延性の面積を算出し、その比率の明示を求められることもあります。

　また、これらは同一材料であっても、試験温度で値が大きく異なりますので、記録としては試験温度の記載が重要となります。

　今日の溶着金属での衝撃値は、一般的に母材より高いのが普通で、具体的には A 級鋼では常温で、D 級鋼では零度で、そして E 級鋼ではー 20 ℃で試験し、規定値を満足させることとする規則などがあります。このような要求値に対して、溶接現場でのテストでは、時により過大電流を使った溶接ビードの中央部や熱影響部などで、これを満足できないことも起こり得ます。

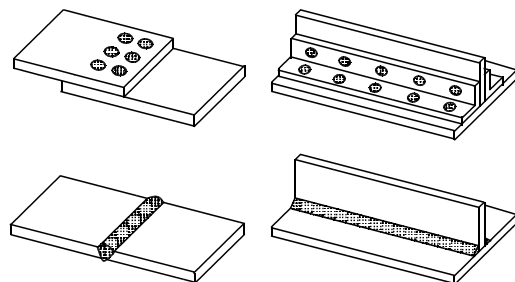
溶接継手の引張試験結果

次いで、溶接継手の**引張試験**での破断位置についてみますと、普通は①ビードが強くて母材が伸びて母材で、②ビードが伸びてビードで、そして③熱影響部のあたりから直線的に切れると言う、これも曲げ試験の場合と同様な三通りがあります。何れも母材と同等か、それ以上の値を示せば合格です。

しかし、必要以上に高い値、例えば母材が402N/mm² 級なのに490N/mm²級以上の値が出ますと、継手部周辺が必要以上に硬化しているのではと問題視されることがあります。

合格した三通りについても、例えば衣服に破れるような力を加えた場合、布地よりも継ぎ目の糸部で切れるほうが良いとする見方からしますと、②が好ましいとなりますが、別の面では溶着金属が母材より弱いのではとの見方で嫌われることもあります。

①の場合は、溶着金属が強すぎて継手としての均質化に欠けているのではないか、溶接材料選択は正しかったのかとなることもあります。そして③では、過大電流の使用などで熱影響部が過熱軟化したのではとされ、溶接条件や予熱などの熱処理が適切だったのかの検討が要求される場合があります。

○溶接継手の特徴(鋲と対比・収縮・変形・割れ進展)

溶接継手の特徴的なことを知るために、かって競合した鋲接との対比で考えてみます。まず適用できる最大板厚は、鋲接では 30mm 程度までですが、溶接は板厚制限がありません。

突合せとすみ肉継手での鋲と溶接

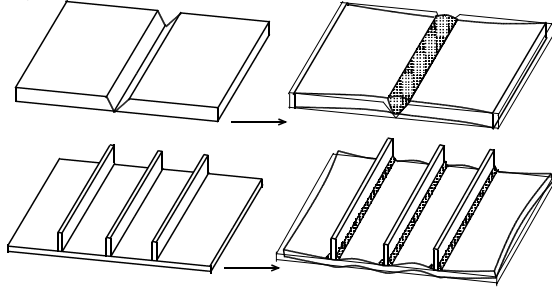
それに鋲接では RDC 職と呼ばれ、鋲打ち(Riveting)だけでなく、穴あけ(Drilling)と鋲打ち箇所の水漏れ対策としての填隙(Caulking)作業があり、常に数人による組作業ですが、溶接では単純な一人作業で済み、工程の簡素化と工期の短縮、それに能率的で騒音がないなどの利点があります。

そして、継手効率でも溶接の 95-100%に対して、一列鋲で 45-60%、二列鋲で 60-75%、三列鋲にしても 65-84%と差があります。その上図からも容易に類推できる、重ね代の有無による構造物総重量の差ではないかと考えます。

一見すると、継手部に限った僅かな重量軽減ではと思われがちですが、大きな構造物になりますと無視出来ない量となります。このことを示す好例として、かって鋲構造を溶接構造に替えて、船体全体の鋼材使用重量を 500 トン軽減させ、その分兵装の充実と航行速度を最高にしたことで、世界の海軍を驚かせたドイツのポケット戦艦の竣工(1929 年)があります。当時これが刺激剤となり、以後艦船だけでなく、機械・建築・土木を含め多くの構造分野で溶接の採用が急速に増え出しています。

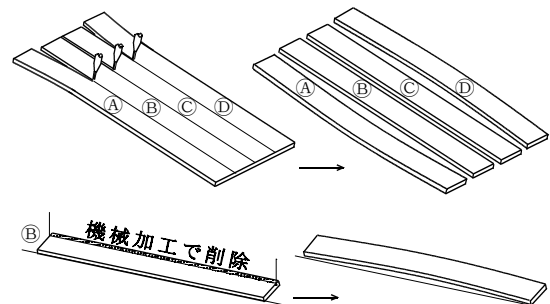
次いで溶接の構造面での欠点はとなりますと､大きなものでは溶接熱による収縮・変形と、破壊を起こした場合の割れの拡がり早さがあげられます。

収縮・変形については、図面通りのものを正確に作ると言う生産技術の大原則からします

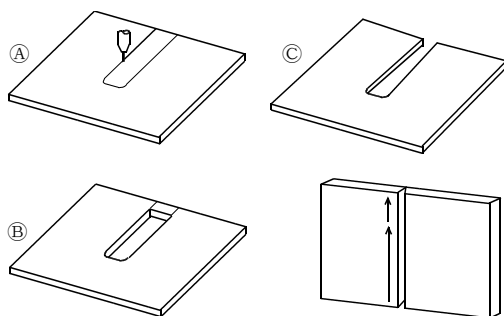
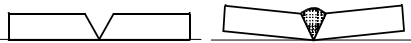
と、溶接は残念ながらそれを守ることが少し難しい技術だと言い得ます。

溶接による収縮と変形

溶接による収縮についての極端な例としては、米国の造船所で、NC ガス切断を初めて導入した(1970 年頃)折りに、すべての部材を誤って図面通りの寸法で切断してしまい、これらを溶接でつなぎ合わせたところ、長さ 300M 強の航空母艦が 1M 短く出来上がってしまったとする話が残っています。

今日では各部材やブロック単位で、溶接による収縮を見込んだ延ばし代を、現図工程で折り込んでいるため、このようなことは起こり得ません。しかし、溶接による収縮量の正確な予量の難しさは変わりなく、形状・板厚・適用溶接法で異なりますので、例えば継手一つ当たりの横収縮量を、突合せで 0.5-1.5mm、両側すみ肉で 0.2-0.7mm などと、各工場での独自実績データを基に延ばし代を決め対応しているのが、実状かと思います。

次いで変形についてですが、これは内部に残る応力と結びつくため一段と複雑になります。例を理解のし易い、同じように熱を加えて加工するガス切断でみます。

帯板切り出し時の変形

まず帯板を得るため多本トーチを使い平行切断しますと、切断中は端部ⒶⒹは外にそり、切断を終えますと冷却による収縮力で内そりとなり、平行部材が得られるのはⒷⒸのみにになります。したがってⒶⒹも平行のをとなると、端部にトーチを追加して切断はしないが同等の加熱を行う処置が要求されます。

一方、この平行に切り得た帯板Ⓑについても、一段と平滑面を得るため一端を機械加工でガス切断面を削り取りますと、この面の加熱冷却で内部に残っていた収縮力が解放されるため、機械加工時に固定していた拘束を外ずしたとたんに曲がりが出て、加工面の直線性が失われることが起こります。したがって、この変形の防止処置としては、機械加工前に帯板を焼鈍炉に入れ、内部応力を除去する作業が行われます。

スリット切断での変形防止

また別の例としては、板の端部をスリット切断を試みる時に、一筆書きの切断Ⓐをしますと、Ⓒのように端部で縮み、目的を達しないことがよくあります。

この場合はⒷのように、まずくりぬき切断を行い、これが冷却後に端部を切り落とす二段の切断工程で、精度確保が行われています。この手法は、長尺の立向継手での溶接順序でも応用されています。これからして、溶接時に変形を押さえ込むか、内部に残る応力を少なくするのかの二者択一を迫られた場合では、現場施工としては前者優先の場合が多いようです。

次いで溶接にもどって、変形のなかでもやっかいな**角変形**についてみます。突合せ溶接でも、表裏の溶接量の差があれば出てきますし、板の片側からの溶接で済ませることの多いすみ肉溶接では、程度の差はあってもほぼ確実に角変形が出てきます。

突合せの角変形とすみ肉のやせ馬

それの具体的なものとしては、痩せこけてあばら骨の見えている馬になぞらえての**やせ馬**と呼ばれている歪みがあります。

このように内部部材の跡が、外板にはっきりと出てきますと、単に見栄えが悪いだけでなく、座屈変形を増長させるなどの構造上でも好ましくないことになります。

それにもう一つの困ったこととしては、長尺な溶接物での全体としての**そり**や**ねじれ**の出易さがあげられます。

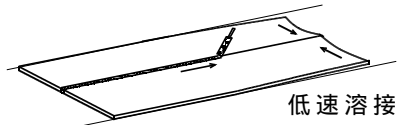
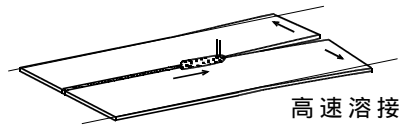
対称法

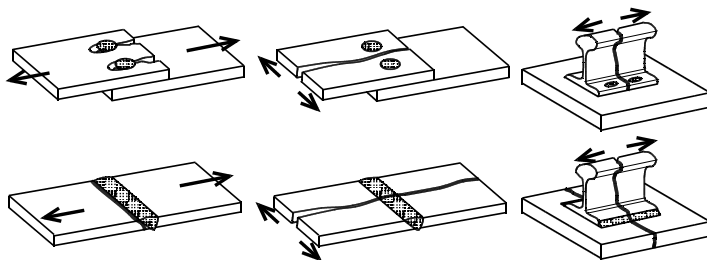
飛石法

長尺線での溶接順序

これは、例えば一つの溶接線でも溶接速度の差などで、始点と終点では変形傾向が異なりますので拘束や溶接順序でこれらを最小限に押さえる工夫をします。

溶接速度による変形傾向

また、左右対称の溶接線でも、一人作業の溶接では目的を達しませんので、作業現場でよく見られるように、複数の作業員を対称的に配置し、一斉同時溶接の励行なども行われています。

円形構造物での同時溶接

しかし、全般的な変形対策は、内部応力の残留程度への配慮などもあり、溶接による収縮は多少自由に、しかし角変形は起こさせない**拘束ジグ**の取り付けが行われています。これで防ぎ切れなかった角変形は、溶接後の歪み取り作業による修正へとの処置が多いようです。なお、これらの拘束類の詳細については、施工編の溶接前の項で述べます。

割れた場合の鋲接と溶接での割れ進展度

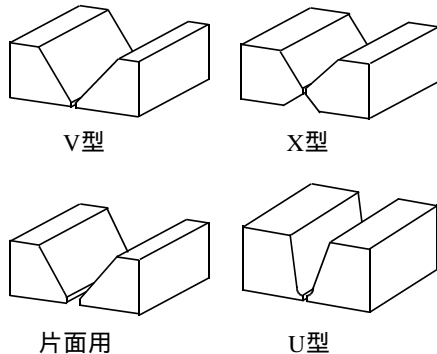
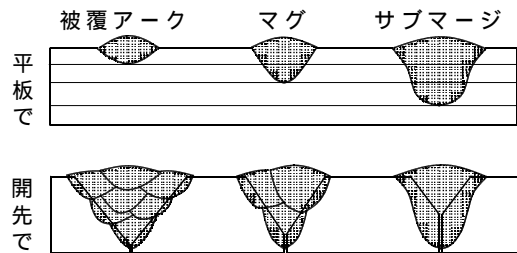
一方、何がしかの理由で構造物の一部から割れが発生した場合の、その進展過程をみますと、鋲構造では継手部で割れは一旦止まりり、次の隣の部材へと進むことは少なく、あったとしても少し時間がかかります。いわゆる**クラック・アレスター**(CRACK-ARRESTER)の役割をします。

これに対して溶接構造では継手部で一体化され連続性を持ちますので、強度上はさほど問題にならない補助部材から出た些細な割れが、容易に重要構造部材本体へと侵入して行く怖さがあります。

このため、割れ事故を起こした場合に、その程度が瞬時に拡大し、被害程度を大きくしてしまう危険性がありますので、溶接構造では割れの起点となるような欠陥は、付属品であっても本体と同様の厳密な検査と、その補修が要求されます。この溶接変形や割れへの対応については、あとに出てくる溶接での割れの項で再度説明します。

○突合せ溶接継手(開先・片面・余盛・継手位置)

溶接継手は大きく突合せ継手とすみ肉継手に分けられます。この突合せ継手について見ますと、一般的に材料取りの有利さと溶接のし易さなどで、溶接線は直線が多用されています。

そして、この継手は通常ガス切断による部材の切り出し過程で、別途または二本か三本トーチを使つての同時かで溶接用の**開先加工**が行われます。

平板と開先ありのビードの溶込み

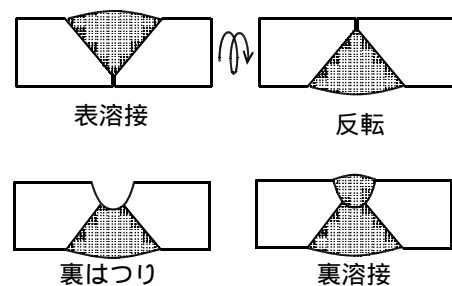
突合せ継手での開先形状

開先加工は、平板上に溶接した場合、被覆アーク溶接で 1 ～ 2mm、マグ溶接で 2 ～ 3mm、そしてサブマージアーク溶接で6mm 程度の深さしか溶込みが得られませんので、上面からの溶接で板厚の底部までとどかせるために行う一種の溝加工です。

この開先の形状としては、ガス切断で容易に加工のできる V 型が一般的です。しかし V では板厚が増すと溶接材料の使用量が急増しますので、大体 25mm 以上になりますと、ダブル V の X 型が、さらに板厚が増えると機械加工による U 型などが採用されることになります。

また、V の開き角度は、狭くすると溶接材料の節約になりますが、底部までアークがとどかないとか、融合不良の発生率が高くなるなどで、自ずと 60 度近くに決まります。

被覆アーク溶接を対象とした開先では、60 度 V としています。これは 4mm φの被覆棒を使って、アークが開先底部にとどく最小の開き角度であるとして決められたものです。したがって、細いワイヤで被覆アークより溶込みも深い、マグ溶接のみで施工している工場では、60 度より少し狭い角度を基準にしているのをみかけます。

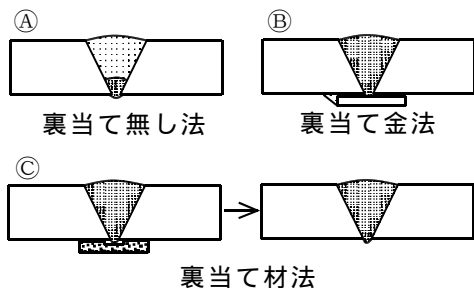
最近ではこれに、片側からの溶接のみで済ませる片面溶接が出てきて、それ専用の形状も加わってくるなどで、開先形状の多様化傾向が出てきています。

このように加工された開先内を溶接する場合、普通は表溶接後に部材を反転し、裏はつりして裏溶接への手順になります。この**裏はつり**は、①欠陥を内包している頻度の高い表溶接側の底部を除去する。②表溶接と裏溶接の重なりを十分にとり、板厚内部に未溶融箇所を残さない。③はつり溝が裏の溶接線を明確にするため、裏ビードの直線性が保てるなどを目的としています。

両面溶接での作業手順

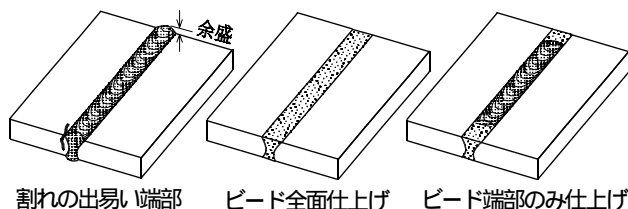
はつりの方法には、ニューマチック・チッピング・ハンマーとガス・ガウジング、それにアーク・エア・ガウジングの方法がありますが、ハンマーでは騒音が、ガスでは作業能率と熱変形で、アークでは炭素微粉の飛散と高音でと、それぞれ難点を持っていますが、現状は作業能率からしてアーク・エア・ガウジングによるものが多くみられます。

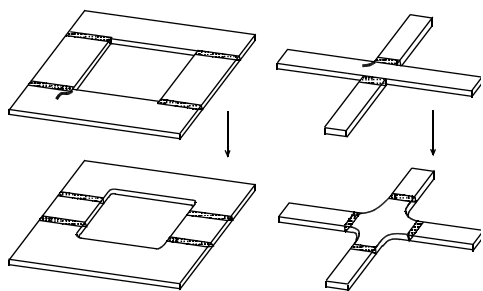
この一般的な両面溶接に対して、**片面溶接**という工法があります。本来は構造上で裏側に

作業員が入れぬ裏溶接不能の箇所に適用されていた方法だったのですが、最近では裏はつりと裏溶接の工程が省略できるとして、開先間隙が拡がる分だけ溶接材料の使用量が増える欠点があるのですが、裏溶接が可能な継手箇所にも適用されることが増しています。

片面溶接法の種類

片面溶接の具体的な方法には、Ⓐ初層溶接のみ裏ビード作りの容易な裏波専用棒かティグ溶接を使い、あとは通常の溶接を行う裏当て無し法。Ⓑ裏当て金をを取り付けて、底部まで十分に溶け込まし、溶接後も裏当て金を取り除かず構造部位の一つとして残してしまう裏当て金法。Ⓒ底部に溶落防止と裏ビード作りを目的としたセラミックス類のバッキング材を取り付けて溶接し、後刻バッキング材を除去する裏当て材法の三種類があります。

それぞれ、Ⓐはパイプの周継手のように裏側見えないとか、裏に異物を残せないような箇所に。Ⓑは裏当て金部にノッチが出ますので、繰り返し荷重をの少ない箇所に。そしてⒸは高い技能の要求される上向き姿勢の溶接箇所が多い構造などで適用されています。

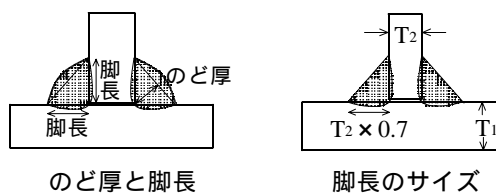
次いで突合せ溶接ビードについてみますと、高さ 3mm 以内か板厚の一割以内と規定されている**余盛**と呼ばれている膨らみがあります。

余盛とその仕上げ方法

一般的な構造の場合はそのままで支障はないのですが、外力の繰り返しを頻繁に受ける橋梁や、振動の多い機械類での溶接では、疲労強度上でこの余盛高さが問題視されますので、継手全体の余盛を削って外力の流れをより滑らかにするとか、部分的にカットの出やすい端部のみ余盛を仕上げるなどの処置が要求されることがあります。

角部の溶接線の位置

この突合せ継手端部に関係した継手位置では、隅部にからむ継手ですると、カットと結びついたり、構造面での高応力点と重なつたりで、割れに繋がる頻度が高くなってきますので、材料歩留まり上からは多少好ましくはないのですが、図のように角部には丸みを持たせ、溶接線は角部から板厚の 2 倍以上のところに位置ずらしを行う処置が採られます。

また、十字継手の場合でも振動や繰り返し荷重を受ける箇所では、やはり同様のことが行われます。

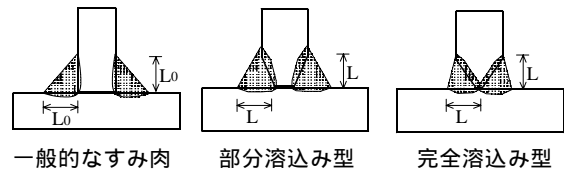
○すみ肉溶接継手(のど厚・脚長・連続と断続・継手位置)

突合せとすみ肉継手が混在する一般的な構造物溶接長をみますと、その八割以上がすみ肉溶接継手です。その中でも圧倒的に多いのが両側すみ肉溶接で、その強度は**のど厚**の大きさで決まります。しかし、のど厚は計測のしにくさがあるため、通常は二等辺三角形の二辺の長さを**脚長**と呼び、この数値で表示されます。

両側すみ肉溶接でののど厚・脚長

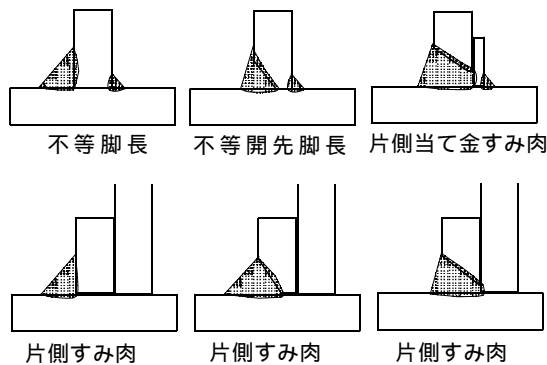
したがって、脚長の大きさはその都度の強度計算で出されるべきですが、板厚と脚長との関係で、(板厚×1)から(板厚×0.5)までの四段階程度に分けた表を作成し、かかる外力レベルの異なる構造部位と板厚を知ることで、自動的に脚長が決まるとする方式を採用しているところもあります。これらをみますと、一般的な構造での脚長は接合される二つの板の(薄板厚×0.7)が多いようです。

この両側すみ肉溶接では、両脚長間の中央部で未溶接箇所が出ますが、普通は強度上の影響なし考えられています。

すみ肉溶接部の形状

しかし、板厚が　増えるに従い脚長の増大による溶着金属量の急増と、中央部の未溶接箇所が増えることで、割れ易くなるのではとの心配などが加わり、具体的には板厚が 20mm を超えるような時は、**部分溶込み型開先**として、未溶接箇所が少なくなる処置がとられます。

この時は当然のことですが、溶け込んだ分だけ底部脚長は内側に入り込みますので、外見上は等脚長ではなく縦長の小さな脚長に変わります。

その他の形状としては、繰り返しや振動を受ける箇所や、高温で使われる部材では、中央部に未溶接箇所があると割れのノッチ起点になるのではとの見方から、板厚がそれほど厚くなくとも、**完全溶込み型開先**が採用されます。この場合も、部分溶込み型と同様に底部脚長は、より内向きとなりますので、外見上は小脚長での施工のようにみえます。

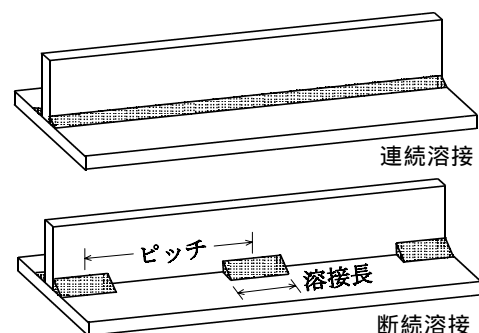
また、これとは別に両側すみ肉溶接箇所で一方が立壁などで邪魔されて溶接がしにくいとか、出来ないような継手が出ることがあります。

その他のＴ継手

その邪魔程度にもよりますが、正規のトーチ角度がとれないとか、手が届きにくい程度でしたら、溶接のしにくい側を一層程度の僅かな作業量で済ませ、その不足分をやり易い片側の大脚長で補うか、部分開先でとする不等脚長で処理する場合があります。

そして、片側からは完全に溶接ができないが多少の空間のある時には、事前に当て金を取り付け、片側からのみの溶接で終える当て金方式が適用されます。

それに、片側に立壁がある場合は、図にような三通り工法が考えられ、何れを採用するかは外力状態でとなりますが、一般的には②か③の採用が多いようです。

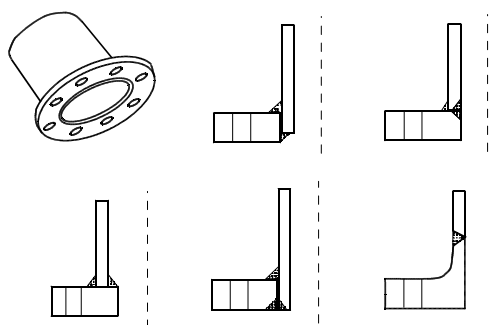
次に溶接線については、すみ肉溶接では**連続**と**断続**があります。重要強度部材は連続で行われますが、一般部材では(のど厚×溶接長)で強度が確保できますので、小脚長の連続溶接にするか、少し大きい脚長での断続溶接かの二者択一が必要となります。

この判断例として、脚長 3-4mm の小脚長は溶接はしにくく、5-8mm 脚長になると溶接技能面でも楽に

連続と断続すみ肉溶接

なることや、溶接歪も少ないとして、断続が有利とする向きがあります。

しかしその一方で、断続はペンキが塗布されていても、ビード間の未溶接箇所から錆が出やすいなどで、屋外暴露部に使えないとか、ビードの始終端処理の数が増える面倒さ、それに断続に変えても溶接歪の程度もそれほど少なくならず、自動化もしにくいとする見方があり、必ずしも断続溶接が有利とは言えないようです。

したがって、現在は適用板厚、構造部位、作業量などで個々に判断され、何れを良しとするかの決定的な方向ずけはされてないように思われます。

すみ肉溶接継手の位置選択については、製品の使用目的が優先し、それに溶接作業のし易さが加わるため、同じ構造部位でも、その判断差で採用位置が異なることがあります。その例をパイプとフランジの組み合わせの場合についてみます。

フランジ・パイプの継手位置

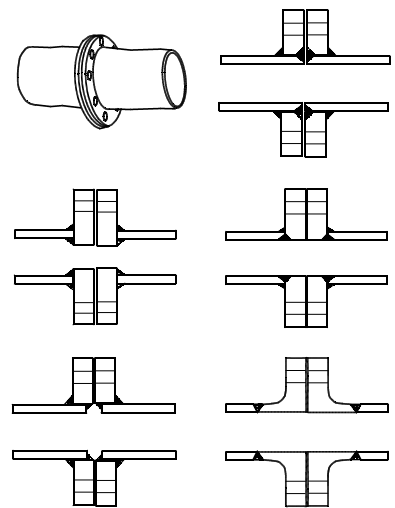
まず最も単純で下向き姿勢で溶接出来る①は、フランジ内径のすみ肉分だけ配管内径が小さくなることや、パイプ内側のすみ肉溶接が径の大きさによって容易にできないなどの問題があります。したがって、この型の継手は腰高マンホールなどに使われる程度で、一般的なパイプ構造向きではありません。

①は作業面からは両側共に溶接がし易く好ましいのですが、フランジすみ肉箇所の内径が少し大きくなるため、パイプとして連結された時に通過する液体がフランジ接合箇所で澱み、腐食などがし易くなるのではの心配があります。

これに対して③はパイプ内径の連続性が保たれ問題はないのですが、機械加工済みのフランジ表面にスパッタが多く付着することや、溶接後にフランジ面の余盛仕上げによる平滑度確保の必要性が出てきます。

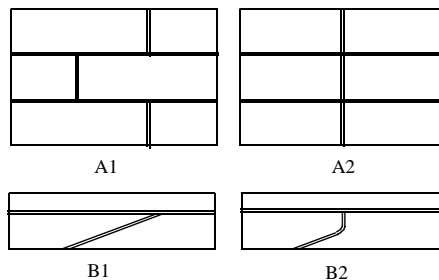
②は③と同様にパイプ内径の連続性では好ましいのですが、パイプ内側からの溶接があるため、小径ものに適用できないことや、パイプ内径の平滑度を考えると、余盛の削除の作業が加わります。それに配管完成後にバルブなどを痛め易いパイプ内のスパッタが完全に除去できるかの心配もあります。

配管継手部の形状

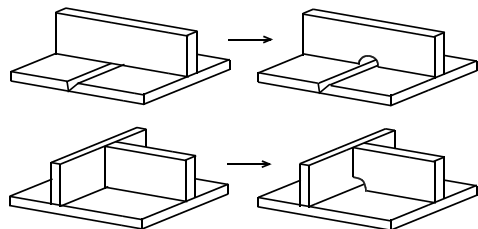
⑤はすみ肉を突合せ継手に替える方式で、 重強度上で好ましい形状だとして高圧管などに採用されていますが、フランジ加工面で経済性に難点があり、一般配管向きではなさそうです。また、この場合の開先は機械加工がされていますので、初層はティグ溶接による裏波を出す方式が多いようです。

○溶接継手の交差(ｽｶﾗｯﾌﾟ・溶接順序)

一般的な構造物では溶接継手の交差箇所が数多くみられます。まず突合せ継手で、溶接線が縦横に組み合わさった場合ですと、かっては万一縦方向で割れが出たときに、その進展が早いとして A1 型のように縦線をずらせた継手配置が多かったのですが、T 交点での溶接欠

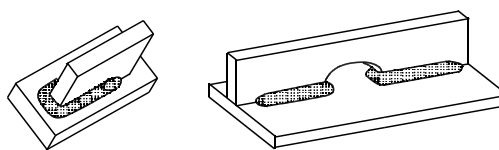
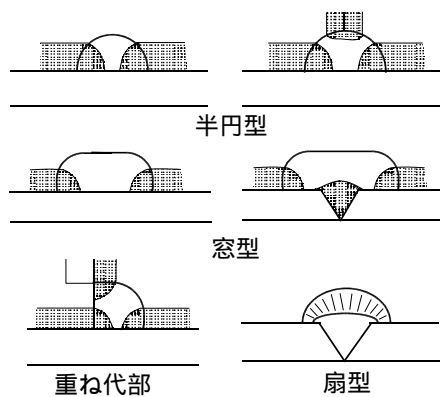
陥発生率の高いことや、鋼材と溶接材料の改善で、割れたとしてもその進展速度が下がったとして、現在は組立のし易い A2 型の形式が増えています。

また、突合せ継手が斜交する場合は、B1 型ではなく、溶接のし易さなどで交点で直交するようにした B2 型が多いようです。

突合せ溶接線の組み合わせ形状

次いで、突合せとすみ肉やすみ肉とすみ肉が交差する箇所についてみますと、その交点で溶接独自の**スカラップ**(SCALLOP)と言う半円形をした穴あきの工法が、一般的に採用されています。

溶接線の交差とスカラップ

これは部材組み上げ過程で一品毎に取り付け溶接するのではなく、仮付け組み上げが全て終わった後に、溶接工程へとなりますので、部材交点で板厚分の溶接ができることや、交点周辺で溶接熱が重なり局部脆化が起こる可能性のあること、それにこの重要交点で未溶接箇所を残さないで、確実に溶接されたかどうかが、外観からは判断しにくいなどが理由で、このスカラップ工法が採用されたのではと思われます。

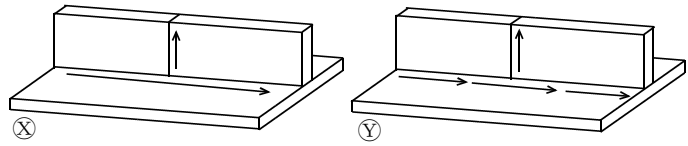
その上に構造にもよりますが、スカラップがあることで、立ち壁前後の水はけも良くなるなどで、多用されている面もあります。

スカラップの形状としては、半円形が一般的ですが、小さな半円では**まわし溶接**がしにくくなりますし、大きければ構造上で強度不足を起こします。それに加え、スカラップ内相互のすみ肉溶接ビード間を数ミリは離したいなどがあるため切り抜き易い半円形にこだわらず、その場の条件に合わせた独自の形状での対応がされています。

すみ肉でのまわし溶接

スカラップの形状

その形状の具体的なものをみますと、半円型では板厚により 30-50mm φ程度のが多いようです。この寸法ではすみ肉溶接ビード間が接近し過ぎる場合は、横長の窓型が、重ね継手箇所では四分の一円で少し直線部のある型が使われます。そして各形状ごとに、二三のサイズのものを工場標準として決め、板厚毎に適用されています。

このスカラップ工法は、同じ交差部でも水密を要求される所へは適用できませんので、このような箇所では、後で埋めてしまうことを前提とした、溶接棒やワイヤが入る程度の立て材を斜めに削り取った背の低い扇型のスカラップが使われます。

しかし、最近ではこの扇型スカラップを水密箇所でない一般的なところへの適用が増えてきています。理由は、スカラップのまわし溶接が比較的難しく、カットなどの欠陥を残すことがあり、これを起点とした割れが散見されることや、母材・溶接材料共に改善され、スカラップ工法が考えられた時代に比し、溶接熱の重畳によるぜい化の心配が少ないとか、最終工程の仕上げ塗装のし易さなどで、この扇型のノン・スカラップ工法が好ましいとの見方が強くなってきたためかと思われます。

次いでこのような溶接部が交差する場所では、局部加熱の交差を意味しますので、**溶接順序**が重要となります。この順序決定の原則としては、内部残留応力と溶接変形を最小にがあります。しかし、これは場所により矛盾したことの同時満足の要求となりますので、その折りには変形の抑えを優先するとの考えが強いようです。

具体的な溶接順序となりますと、Ⓐ突合せとすみ肉では突合せが優先。Ⓑ厚板と薄板では厚板が優先。Ⓒ強度部材と二次部材では強度部材が優先。Ⓓ下向きと立向では立向が優先とされています。

突合せ・すみ肉溶接継手交差箇所の溶接順序

しかし、Ⓓなどではこの順序の守れれるべき範囲は、交差部周辺300mm程度としていますので、作業展開上ですみ肉溶接を優先したい場合では、Ⓧではなく Ⓨのように順序を細分化して③④を後刻溶接するとしたその都度対応をしても、残留応力上からはⓍとほぼ同じ結果が得られるとして採用されています。

○溶接での割れ(高温低温割れ・原因調査・事例と対応)

仮付けビードでの溶接割れ

構造物が割れると云うことは、その周辺を含め非常に危険な状態に追い込みますし、これに伴う経済的損失も多大となります。

特に溶接構造の場合は、先にも少し触れましたが、割れた時の伝播速度が比較的早いですから、危険からの待避時間が少なく危険度は一段と増しますので、このようなことが起こらないよう最大の注意を払い、施工する必要があります。

設計が想定した以上の外力が加わったとか、図面指示通りに作られていなかったなどの場合は例外として、溶接構造物での割れ事故については、割れている仮付けビードの上から本溶接し、割れを内包したままであったなどの、溶接時にすでに割れていたとか、溶接継手端部のノッチを見過ごしたために、これを起点にして外力で割れが進展したとする、最終検査の確認不足によるものが多いようです。

したがって、大部分の軟鋼構造物では内部欠陥の検査と並行して、繰り返し荷重などで傷口を拡げてくる表面欠陥を外観試験により取り除くことが比較的重要となります。

割れの状態については、溶接関係では一般的に大きく**高温割れ**と**低温割れ**に分けて、表のような説明がされています。

溶接での低温・高温割れ

	割れ名称	割れの状況	割れ場所	割れの主因
低温割れ	縦割れ		熱･溶	水･硬･拘
	横割れ		熱･溶	水･硬 不純物混入
	ルート割れ		熱.･溶	水･硬･拘
	トウ割れ		熱	水･硬･表
	ラメラティア		母･熱	板厚方向の強度と伸び不足
高温割れ	クレータ割れ		溶	不･収縮による空孔
	ミクロ割れ		熱･溶	不
	梨型割れ		溶	不:深溶込み

場所　母:母材部　熱:熱影響部　溶:溶着金属部
主因　水:拡散性水素　硬:鋼材の熱硬化　拘:拘束力過剰
表:アンダーカットなどの表面欠陥　不:不純分析出

高温割れは、溶融金属の融点から 300 ℃程度までの温度範囲で発生する割れで、主に結

晶粒界で起こるとしています。

これは割れ表面での酸化が激しいこと意味しますので、割れた破面は焼きの入った紫色か赤褐色に変色していますので、破面の観察で高温割れだと容易に判断できます。そして、その割れ箇所の多くは溶着金属ですが、時により母材が悪いと熱影響部で起こる場合もあり得ます。

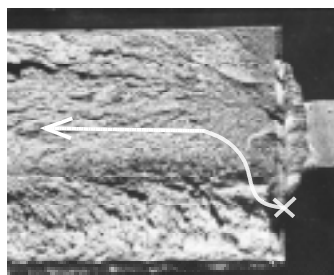
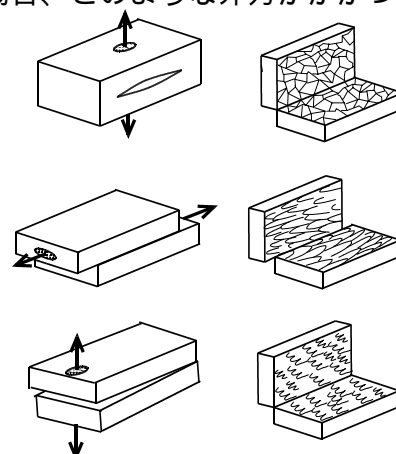
これに対して、発生頻度の一段と高い低温割れは、主として溶接時の汚れや溶接棒の乾燥不十分が原因で、取り込んでしまった**拡散性水素**による場合が多いとされています。

この場合、溶着金属内での水素の移動で、割れに至るまでには時間がかかりますので、溶接直後の目視や非破壊検査で健全さを示していても、翌日や翌々日になって割れたとすることが起こり得ます。したがって、溶接仕様書などで溶接終了後、何時間後に検査をするようにと指示されていることのあるのは、このためです。

全般的には、拡散性水素に加え熱影響部が硬化し易い材料であったとか、外観上でノッチが出ていたことによる場合が多いように見受けられます。この低温割れの防止策としては、溶接材料の乾燥、予熱の励行などの処置が採られています。

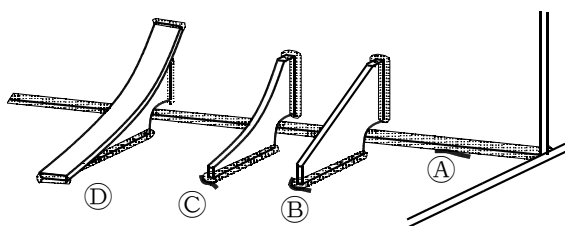
割れ起点の特定を示す破面

一方、割れを出してしまった場合、どのような外力がかかつて割れたのかとか、割れのスタート点は何処かを突き止めることが、補修方針を決める上からも重要となります。

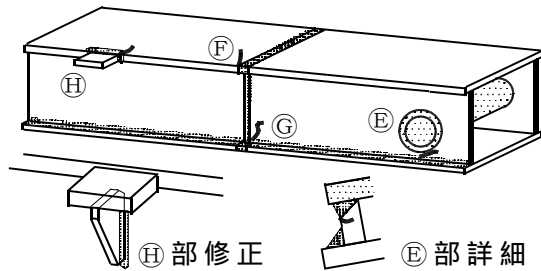
外力方向と割れ破面

一般的に割れの原因は、外観からでもある種の推測はできますが、割れ破面が観察できる場合では、破面内の波の形状や両破面の波の方向性などから、破壊力が引張か、せん断かがわかりますし、多少の経験を積むと波の形状の変化で割れ発生点の特定ができるようになります。

次いで、溶接が関係する構造部位で起こった割れ箇所の事例で、その対応方法の二三を図から考えてみます。

T 構造での割れ対策

まず T 構造部位での角部に出た割れⒶは、ブラケットⒷの取り付け補強で、普通は防げます。

しかし、外力が強いとⒷのブラケット先端で割れが出て、ⒶからⒷに割れ箇所が移っただけの結果になることがあります。

そこで、Ⓒのようにブラケットの形状をカーブさせ、外部応力の流れを一段と滑ら かにとの方式が採られます。これでも割れが出るようでしたら、先端部の受圧面積を拡げるⒹのブラケットに面材の取り付ける方法での対応となります。

ボックス構造では、次ページの図に示しますような、挿入するピン受けの溶接と先に溶接の済んでいるボックスのすみ肉溶接が比較的接近し、熱影響部が重なってきますと、Ⓔでの割れとなることがあります。

この場合は、位置ずらしが好ましいのですが、それができない時は十分な予熱でとする対応処置を採るのが普通です。

Ⓕの端部割れは、この部が多方向からの曲げ応力のかかるところですので、溶接後のビードを滑らかにグラインダー仕上げすることで、ほとんど防げます。

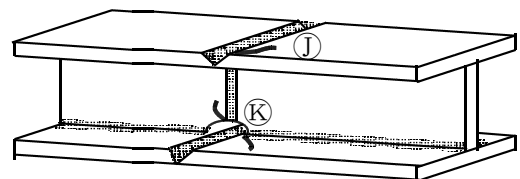
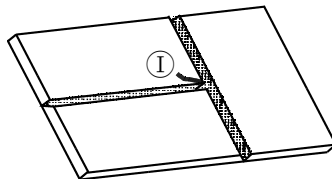
ボックス間のつなぎ目Ⓖの割れも時々見かけます。これは端部での突合せ溶接が不十分のまま、その上からのすみ肉溶接で、その欠陥を隠してしまったために出た割れです。

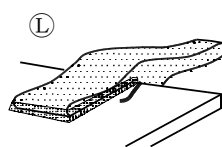
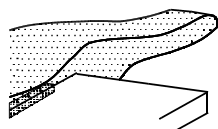
ボックス構造部位での割れ

したがって、交差部周辺のすみ肉溶接箇所 300mm 程度を開先ありとし、すみ肉継手の問題箇所周辺をより確実な溶込みを得る方法で対応されています。

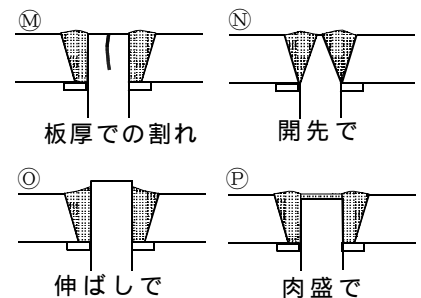
Ⓗの割れは主応力線上に、手すり受けなどの付属品を直接取り付けことで、端部外力の流れが乱され、応力集中で出た割れです。

このような場合は､図のように主応力線上への直接溶接は避ける方式の構造が望まれます。この例のように、補助材の取り付けが溶接を使うことで容易になつたため、多少乱用気味の傾向がありますので、その取り付け位置には一段と慎重さが要求されています。

大板つなぎの交差部のⒾの割れは、交点箇所のガウジング不足でノッチを残したことが主原因です。

平板での交点箇所とＨ鋼継手での割れ

H 鋼継手のⒿでの割れは、Ⓕと同一で端部仕上げにより防げます。また、スカラップ周りの割れⓀの多くは、まわし溶接不良によるものですから、溶接後の回し箇所でのカット有無の確認が重要となります。

Ⓛは平板のへり部に鋳鋼品の爪などを取り付け、すみ肉溶接の隅部から出た割れです。このような柔らかい板に部分的に硬い突起物を取り付け、外力として多方向からの曲げが加わりますと、隅部の応力が非常に高くなり、容易に割れへと結びついてしまうことがあります。

したがって、同じような硬さにになるような構造に組み替えるか、ボルト・ナット構造として、隅部の応力を下げるか、このままの形状で溶接でまとめる場合では、図のように隅部の応力集中箇所は溶接しないとする方法が採られます。

爪部での割れ

極厚板で起こりやすい割れに、Ⓜの例がありかす。これは一般的に厚板の場合板厚方向に引張られると、予想外に弱く簡単に口を開くことがあります。一度この事故が発生しますと、補修作業も大がかりとなる場合が多いので、事前の対応が何よりです。

極厚板での割れ対応

この方策としては、まず予熱が考えられますが、その効果は多少疑問視される場合もあります。多くはⓃの開先取

りをすることで、表面に出る板厚面積を少なくして、割れ起点を出さない方法が採られているようです。

　その他では、Ⓞの中央の板を許される限り伸ばし、板自体で口開け割れへの抵抗度を高める方法とか、Ⓟの事前に開口の可能性の高い板厚面を、伸びの高い被覆棒などで肉盛溶接する方法を見かけます。

◎溶接用エネルギーのガスと電気のこと

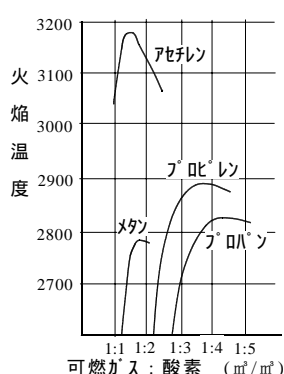
溶接に使われる熱エネルギー源としては、ガス溶接でのアセチレンガス、アーク溶接での電気のように、高温が出せて比較的入手の容易で、熱エネルギー密度の高いものが利用されます。

各種熱源のエネルギー密度

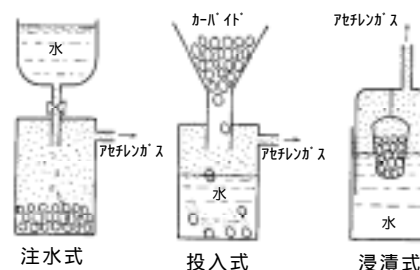
熱　　源	エネルギー密度 (KW/cm^2)
太陽光線	$(1.6〜3.6)\times10^{-4}$
酸素・アセチレン炎	≈1
アーク	≈15
プラズマ・アーク	50〜100
電子ビーム	1000〜

また、最近では電子ビームやレーザ溶接に見られるように、さらに熱集中度を高めたものも、独自性を発揮して溶接に使われ出しています。ここでは、それらの基本的なことと、一般的なアークについては関連する機器の内容についてふれてみます。

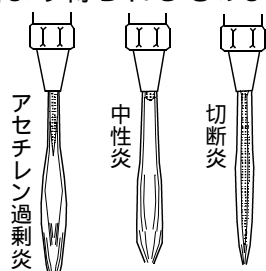
○可燃ガス(ｱｾﾁﾚﾝ・ﾌﾟﾛﾊﾟﾝ・発生器・標準炎)

可燃ガスと火焔温度

溶接に関連する**可燃ガス**としては、図のようなものがあり、それぞれ酸素と最適な比率で混合し使用されています。なかでも**アセチレンガス**(C_2H_2)を使い、酸素との混合比を 1 対 1 から 2 の割合にしますと、3200 ℃近い高温が得られますので、溶接向きにはなりますが、他の市販ガスに比べると割高なことが少し難点となっています。

これから見ると**プロパン**(C_3H_8)は高温を出すには不向きですが、単位容積あたりのカロリーはアセチレンの倍近くあり、それに経済面で優れていますので、溶接向きではありませんが、溶接後の歪みとりや熱間曲げ加工にはよく使われています。

このアセチレンガスは、**発生器**内の水の中にカーバイドを投入するか、逆にカーバイドに水滴をたらすなどで容易に得られますが、高圧ガス取締法で $1.0Kgf/cm^2$ 以上の圧力で使用しないようにと規定されているように、わずかな加圧や衝撃、それに温度上昇で簡単に爆発を起こします。

アセチレンガス発生器

したがって、かっては溶接災害の筆頭にも挙げられていた取り扱いには慎重を要するガスでした。最近ではこの発生器によるものはほとんど見られず、ボンベ詰めされた**溶解アセチレン**(褐色ボンベ)と酸素との組み合わせでの作業となり、この面での安全度は高くなっています。

これはアセチレンがアセトンによく溶解し、ボンベ内の硅藻土などに吸着させると高圧に耐え、爆発しにくくなる性質を利用したものです。溶解アセチレン純度は 98%以上で、発生器より得られるものより純度が高く、溶着金属への P や S などの不純分混入がすくないことも一つの利点となっています。一方、瓶詰めの**酸素**(黒色ボンベ)の純度は 99.5%以上と規定されています。

酸素・アセチレン炎

アセチレンと酸素との混合は、バルブの調整で容易にでき、火焔の状態をみることで、酸素過剰炎、標準炎、アセチレン過剰炎と区別して、使い分けがされています。

普通の軟鋼溶接では、**酸素過剰炎**か**標準炎**で施工されますが、共にこの酸素が溶着金属内の Si や Mn と結びつき、消耗してしまいま

すので、この不足した分を補うために、これらの成分を多く含んだ溶接棒が使われます。

ガス溶接の炎と適用金属

炎の種類	適用金属
標準炎	軟鋼、高炭素鋼、鋳鉄 銅、ﾆｯｹﾙ、ｽﾃﾝﾚｽ鋼
酸素過剰炎	黄銅、ﾄｰﾋﾞﾝﾌﾞﾛﾝｽﾞ
ｱｾﾁﾚﾝ過剰炎	ｽﾃﾗｲﾄ、ﾒｯｷ鋼板、ｱﾙﾐ

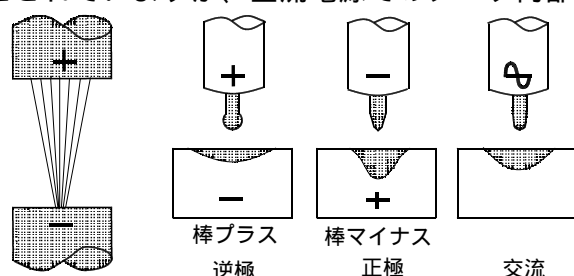
それに対して、**アセチレン過剰炎**で溶接しますと、Si や Mn は減少しませんで、その代わりに炭素の量が増える傾向が出ますので、用途により溶接棒の使い分けが必要で、事前に溶接棒メーカのカタログ記載事項の確認がいります。

このガス溶接では、最高温度がアセチレンによる 3200 ℃程度で、アークの 5000 ℃以上に比べると、溶接のための局部加熱面で見劣りがし、あまり能率的な溶接とは云えません。

その上、中板程度の溶接では母材加熱に時間がかかり、熱影響部の幅が大きく拡がり、溶接変形も出易いなどで、次第にアーク溶接のしにくい板厚 3mm 以下程度のものへと適用範囲がせばまりつつあります。

しかし、トーチの取り替え程度で切断と溶接が兼用できるとか、設備投資額が少ないことなどで、単発的な補修や小物の溶接作業では、それなりに使われています。

○アークの特徴(棒ﾏｲﾅｽ・棒ﾌﾟﾗｽ・ｱｰｸﾌﾞﾛｰ・溶滴移行)

弓のように曲がっているからアークと名付けられた(1807 年)この強い光は、5000 ℃以上とされていますが、直流電源でのアーク内部を覗きますと、陽極(＋)付近ではある広がりをもって全面的に輝き、陰極(－)ではそれが絞られて小さな輝点となっているのが観察されます。これらのことよりアークの出すエネルギーの内約 70%が陽極側で、残りが陰極側での消費だとされています。

アーク柱とティグ溶接での電極と溶込み

したがって、直流での溶接時は極性の違いで、母材と溶接棒の溶け具合が異なり、母材を陽極(**棒マイナス**とか**正極**と呼んでいます)にしますと、溶接棒の溶け具合は遅くて母材の溶込みは深くなり、反対に母材を陰極(**棒プラス**か**逆極**)にすれば、当然逆の結果が出ますので、例えば母材の深い溶込みによる穴あきを嫌う薄板向きの溶接や、母材の溶込みを最小にしたいとする肉盛溶接では棒プラスが採用されます。

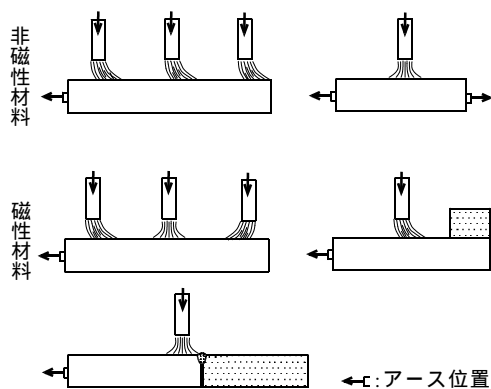
溶接法と極性

	棒－	棒＋	交流
被覆ｱｰｸ	○	○	◎
ﾏｸﾞ	◎	○	○
ﾃｨｸﾞ	○	◎	○
ﾐｸﾞ	◎	○	○
ｻﾌﾞﾏｰｼﾞ	○		◎

◎:採用　○:時により採用

被覆アーク溶接では交流採用が多いですから、陰陽極の区別はなく、輝点も平均化されたものとなります。直流採用時は溶接棒により極性がカタログで指定していますので、それに従うことになりますが、比較的棒プラスの場合が多いようです。

マグとミグ溶接では、ワイヤを早く溶かす必要があるため、ほとんどがワイヤ・プラスです。逆にティグ溶接では、タングステン電極の溶けるのを嫌いますので、棒マイナスが多いのですが、薄い層での肉盛溶接などでは、棒プラスのこともあります。サブマージアーク溶接となりますと、ほとんどが交流です。

この直流電源を使い 200A 以上で溶接作業をしていますと、時々製品の端部付近で急にアークの向きが変わり方向が安定せず、溶接ビードにならないことがあります。この現象を**ア**

ｱｰｽ位置とｱｰｸ･ﾌﾞﾛｰ方向(直流電源)

ークブローと呼んでいますが、これは溶接電流により発生する磁力が、部材端部で帰路のコースが狭められるために、アーク方向を不安定にすることが原因です。

具体的にふらつくアーク方向を見ていますと、図のように母材が磁性・非磁性かで異なつています。したがって、アークブローの防止対策は、アースの位置を二三試みた後に決めるか、一カ所ではなく複数の場所から取るとか、端部に一時的に部材を継ぎ足し無限板のように見せかけるのが効果的だとされています。

$V = aI + bLI^2$

V :ﾜｲﾔ溶融速度
a, b :比例常数
I :溶接電流
L :突き出し長さ

直流アークによるワイヤの溶融速度

次いで、アーク溶接でのワイヤの溶ける速さは、ワイヤ先端が高熱のアーク内に入り溶けるのと、細いワイヤに大電流を流すためにチップからの突き出し部分で大きな抵抗熱が発生しこれにより溶ける速度が早まるとしており、その溶融速度はへの影響比率は、軟鋼やステンレス鋼ではほぼ半々ではとされています。

移行形式	大粒	反発	ｽﾌﾟﾚｰ	ｽﾌﾟﾚｰ	爆発	短絡	ｽﾗｸﾞ面
溶滴移行							
適用溶接法	小ﾐｸﾞ	ﾏｸﾞ	大ﾐｸﾞ	大ﾏｸﾞ	被覆	小ﾐｸﾞ 小ﾏｸﾞ	被覆 ｻﾌﾞﾏｰｼﾞ

大:大電流　小:小電流

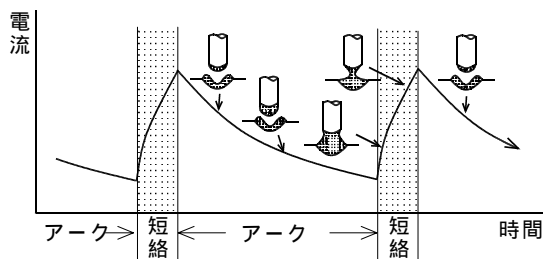
溶滴の移行形式と溶接法

また、溶けた金属が溶融池へと移っていく過程は、単なる重力と表面張力によるぽた落ちだけでなく、周辺の電磁力での絞り作用、アーク力による溶滴を押し上げようとする力などが加わるために、溶接法や溶接電流の大小で種々　の移行形式のあることが観察されています。

その一例として短絡移行の場合の電流波形の時間関係経緯と移行状況を図に示します。そして、それらの移行形式が、一つの溶接条件内で、単体か二三が複合して出てくる場合のあることも知られています。

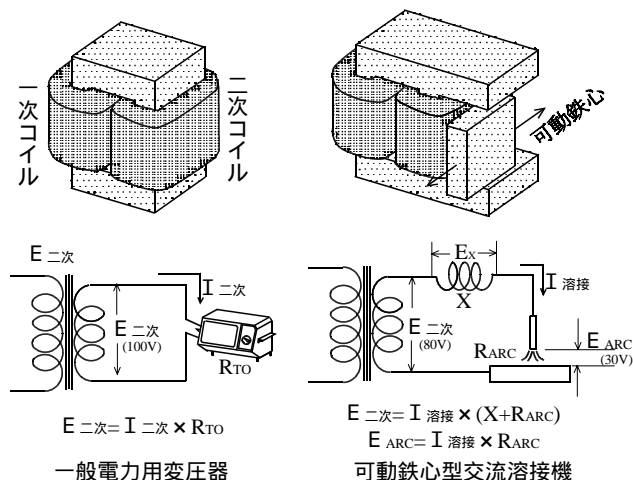
電流
アーク　短絡　アーク　短絡　時間

短絡移行での溶接電流波形と溶滴

これらからして、最近では瞬時に大電流を印可するパルスなどの付加で、この溶滴の移行を制御し、スパッターが少なく、溶接のし易い溶接機へとの動きが、溶接機メーカ側から強く出てきています。

○交流アーク溶接機の特徴(ﾘｱｸﾀﾝｽ回路・定電流特性・定電圧特性)

溶接はアークを出し、溶接棒と母材との距離を一定に保ちながら、溶接線に沿って移動させる作業ですから、運棒時のショートやアーク長の多少のふらつきなどにかかわらず、アークの安定性を維持することが重要となります。ここでは、最も単純な構造の交流アーク溶接機を例にこの点について考えてみます。

溶接の場合、電流の大小は溶接材料や母材を溶かす割合を示し、電圧はアーク長さの長短

を表すものだとして話を進めます。まず、溶接機内の変圧器は、日常使っている電力用のトランスとほぼ同じですが、漏洩磁束を利用して電流の流れを妨げる**リアクタンス回路**を持つ点で異なっています。

変圧器と交流溶接機の形状と回路図

したがって、電力用からみますと、その分だけ少し効率の悪い変圧器を、溶接では使っていることになります。

図では電力用トランスに家電製品を取り付けた場合と可動鉄心型の交流溶接機を対比させています。

この回路では家庭用トースター(R_{TO})での抵抗と同じように、アークについては変動のし易い抵抗(R_{ARC})として示しています。

したがって、溶接機の回路図ではオームの法則での抵抗と同じように働く、可動鉄心のリアクタンス(X)が挿入されることになります。かっての溶接機では、リアクタンスではなく、より効率の悪い大きな抵抗が入っていましたので、古老の溶接作業者の一部で溶接機を、未だに抵抗器と呼んでいる人がいるのは、そのためです。

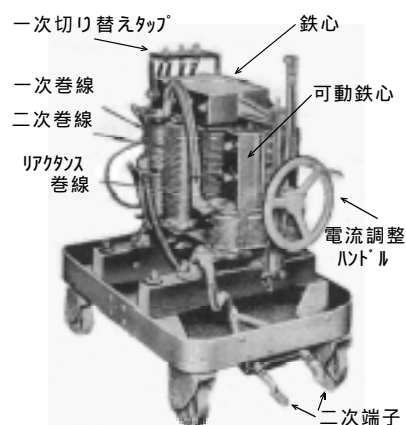
次いで、このリアクタンスですが、その前に家庭用電化製品でショート(R_{TO} → 0)させますと、電流($I_{二次}$)が過大となり、スパークが飛び導線が焼き切れるか、煙をあげて変圧器を焼損させてしまうかになります。

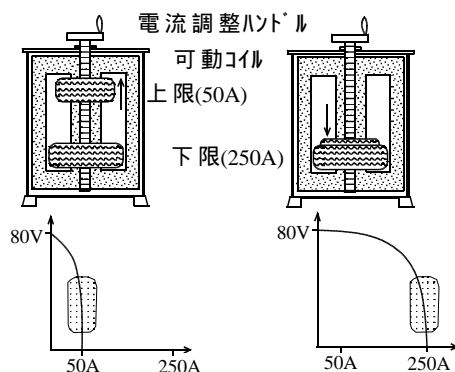
しかし、溶接機ではこのやってはならないショートを、アーク出しのスタート時点や、溶けた溶接棒が母材に移行する時、それに溶接技能未熟時は溶接棒を母材にくっつけ、身動きとれなくなった時などにみられるように、溶接時にはこのショート状態を多発します。したがって、ショート時でも変圧器は焼損せず、せいぜい異常音を出す程度で済ませる必要があり、その役割をするのがリアクタンス(X)です。

これは、母材に溶接棒をくっつけてショート状態(R_{ARC} → 0)にしても、R_{ARC} よりも十分大きな X があるので、溶接電流($I_{溶接}$)はさほど変動せず、変圧器を焼損させるような大きな溶接電流が流れることはありません。

このようにして、溶接電流のふらつきの少ないことが、アーク電圧(E_{ARC})の保持を容易にする特徴にもつながるわけです。しかし、$E_{二次}=E_X+E_{ARC}$ ですから、E_X 分はアーク用のエネルギーとしては使つていませんので、その分だけ効率は悪くなります。

可動鉄心型交流溶接機内部

単純に効率を良くしようとすれば、現在 85V 以下などと JIS で規定されている二次側の無負荷電圧($E_{二次}$)を、30V 程度のアーク電圧(E_{ARC})に近づければ良いとなりますが、こうするとアーク・スタートがしにくく、作業者はいらいらしますし、アークが出ても安定性の悪いものになります。むしろ逆に、初期のアーク溶接機のように二次無負荷電圧を 130V 程度にすれば、アーク・スタートも溶接作業性も非常に良くなってきます。しかし、これでは効率

の悪さだけでなく、感電の危険性が急速に高まると言う、また別の大きな問題が出てきます。

したがって、溶接機の二次無負荷電圧についてはアークの安定性か感電の危険性を避けるかの二者択一となりますが、現在は 80V 付近と云う中間値で設定されています。しかし、これでは感電の危険性が残っていますので、普通の交流溶接機では内蔵または外付けで感電防止器の取り付けりことが、法規で義務付けられています。

250A可動線輪型交流アーク溶接機

次いで、溶接機では電流と電圧の関係を示す溶接独自の特性曲線があります。これを可動線輪型交流溶接機を例にしてみますと、図のようになります。

何れの電流値に設定しても、アークとしては主としてカーブの直立に近い部分で使われますので、手ぶれなどでアーク長がふらつき電圧が上下変動しても、電流の変化が微少で済む**定電流特性**のものですが、溶接ではこれを**垂下特性**の電源と呼んでいます。

この垂下特性電源は、溶接棒の溶融速度が遅く、手作業でアーク高さの制御が十分できる、被覆アーク溶接(4mm φ、200A で棒の溶ける速度は 0.3M/min 程度)で多く使われています。

これに対して、被覆棒より細いワイヤを使い、高速(1.2mm φ、300A で 10M/min 程度)でかつ定速度の送りをする半自動溶接用のマグやミグ溶接機になりますと、定電流ではなく少し下り気味の、**定電圧特性**を持つ直流溶接機が使われています。

これは、ワイヤ送りを高速で刻々と速度変更するのが難しいため一定速送りに固定して、もし電圧何らかの理由で下がる(ワイヤ先端が母材側により近づく)と、電流は自動的に増え、その結果ワイヤの溶ける速さが高まるため、ワイヤ先端が母材から遠のき、元の電圧に復すると言う特性のものが必要なためです。

溶接方法		電源	電源特性
被覆		DC or AC	V I 垂下特性
ティグ		DC or AC	V I 垂下特性
ミグ マグ		DC	V I 定電圧特性
サブマージ		DC or AC	V AC I　V DC I

溶接方法と電源特性

しかし、同じ自動でもサブマージアーク溶接で交流電源を使う場合は、ワイヤの送り速度が遅い(4.8mm φ、1000A で 1.4M/min 程度)ので、送り速度の緩急制御がモータ回転の調整で容易にできることや、その機構も単純で済むなどがあり、手溶接と同様の垂下特性型の電源が使われています。

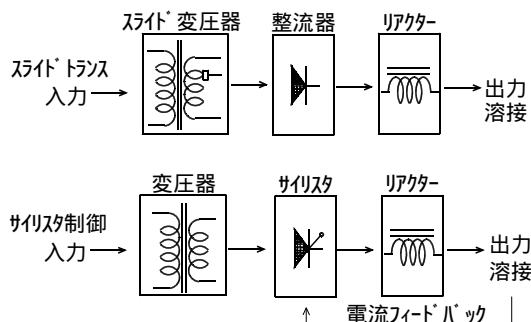
○直流アーク溶接機の特徴(ｽﾗｲﾄﾞﾄﾗﾝｽ式・ｻｲﾘｽﾀ式・ｲﾝﾊﾞｰﾀ式)

最近はマグ溶接機が伸びてきたこともあり、直流アーク溶接機が多用されていますので、その基本的な構造についてふれてみます。

その前に、直流アーク溶接機は交流のに比べアークの安定度は高く、相当長いアークを出しても、直ぐにアークが切れて消えてしまうことはなく、使いやすい溶接機です。それにもかかわらず欧米と異なりわが国で交流機のほうが普及していたのは、安価であったことと、作業員の器用さで交流の使いにくさが技能面で克服されていたからではと思われます。

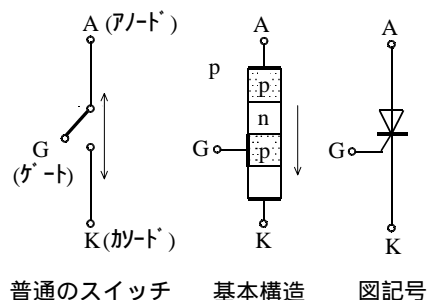
直流溶接機の構成事例

直流アーク溶接機での整流器型としては**スライド・トランス式**と、これに構造が類似している**タップ切替え式**があり、何れも溶接電流で350A以下用として使われています。

この型のものは、構造的に交流アーク溶接機と異なっているのは、変圧器の二次側に整流器が入り、交流を直流に変換している点だけです。

これに対して1975年頃から出てきた直流機に**サイリスタ制御式**のがあります。これが普及したのは、スライド・トランス式で出来なかった出力調整が連続的に変えられ、かつ遠隔操作が可能になったこと、その上1000A程度までの大電流が使えるようになったためかと思われます。

シリコン制御整流素子(ｻｲﾘｽﾀ)

サイリスタは、図で示しますように半導体スイッチング素子の一種で、p形とn形の半導体を4層以上持つシリコン制御整流子(Silicon Controlled Rectifier)のことを言います。

普通のスイッチのように、両側ではなく、一方向(A → K)のみに電流が流れる特性を持ち、それに加えてかっての三極真空管のようなグリッド(G)があり、これにアーク側の微細な変化を入力しますと、増幅され大きな出力調整が容易にできる特徴をこのサイリスタは持っています。

マグ溶接機での制御方式の変遷

次いで、このサイリスタ制御式に対して、制御の一段の安定化と、小型軽量で省エネルギーな溶接機として1985年頃より出てきたのに、**インバータ制御式**のがあります。

この方式は、インバータ・エアコンを使うと直ぐに設定温度になりますとの広告文からも推測できますように、非常に高い応答性のあることを特徴としています。

溶接をする側からみますと、インバータ制御機はアークが安定して使い易いとか、スパッターが少なくなるのこともありますが、最大の魅力はアーク・スタートが確実にできることではと考えます。特にロボット溶接や、10台以上の溶接機による多点同時すみ肉溶接装置などのように、一台のアーク・スタートの失敗も許されない分野では、採用率が高まっているようです。

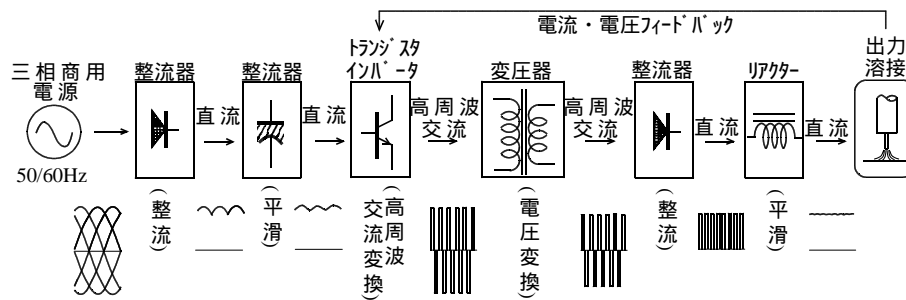
CO_2/MIG自動溶接機
❶100%に近い瞬時アークスタート率を実現。
❷高速溶接においても、細いキレイなビードで能率アップ。
❸CO_2溶接で、MAGなみにスパッタを低減した経済機。

初期インバータ溶接機の広告文

このインバータ制御式の構造は、一般商用の50か60Hzの交流を、そのまま整流器を通して直流とし、それをパワー・トランジスタで20KHz程度の高い周波数の交流に変換しています。この直流を交流に変えることを一般に**インバータ**と呼んでいます。

次ぎに、この高周波交流を変圧器に通して、目的の溶接用の電圧に変え、再度整流器で波

が細かく、応答能力の高い直流としてから、他の溶接機と同様にリアクトル経由でアークを出す仕組みになっています。

トランジスタ・インバータ制御式直流溶接機の構成

交流→直流→交流→直流と、結構まわりくどい回路ですが、高周波交流を使うことで、変圧器の一次側を高速でスイッチングができ、パルス巾を変えての出力となるため、変圧器の鉄心が減量でき、スパッタの発生量は半分から三分の一程度になり、ワイヤ送り速度を 2 ～ 3 倍にあげ得る可能性があるなどの特徴があります。

この機種の欠点をあえて挙げるとすれば、価格面とスイッチングの周波数によつては、多少不快なノイズが出ること、それに補修費の高いなどではと思われます。

溶接の施工編

◎溶接前作業作業のこと

溶接作業が成功するか否かは、他の作業と同様その大半は準備作業の良否にかかっているとされています。特に溶接の場合は、決め手となる作業が個人の技能による比率の高いためなおさらです。ここではその溶接準備としての必要事項について考えます。

○作業準備書類（**基準書**・**要領書**・**仕様書**・**作業指示書**)

溶接に先立ち、作業展開時の指針となる溶接基準書とか要領書、または仕様書と呼ばれるものを各工場が持つことで準備の開始となります。

この三つの書類は明確な区分けなく使われているようですが、ここでは溶接基準書は所属する業界の基準を参考に作成された工場全体としての溶接施工の元本的なものとし、これから必要分を抜き出し、これから行う工事単位にまとめ、内容が一段と具体化されたのを溶接要領書、そして受注先からの提示や交渉で取り決め たのを溶接仕様書と、一応分けて話をすすめます。

管理基準(単位mm)

大区分	小区分	ﾀｲﾌﾟ	項　　目	許容限界	備　　考
継手の接近	突合せと突合せ	A		別途定める	設計標準図に従う
		B		a≧30	JSQS通り
		C		a≧0	JSQS通り
	突合せとすみ肉	D		主要構造 a≧10 その他 a≧0	JSQS通り ただし、*を追加

溶接基準書の例(一部抜粋)

まず、**溶接基準書**ですが、普通は工場で古くからあるものや、業界での統一基準をベースに、それに工場により独自に採用する溶接法、開先形状、溶接材料などが加わり、まとめたものになります。これには付書として、何時どの項目が何故改廃されたとか、特殊な工法ではその溶接継手を保証する基礎データが加えられていることが望まれます。

1．吊金具，吊金具の補強部材の脚長指示

①　溶接職の担当班長または棒心が図面確認後，吊金具，吊金具の補強材の側面に白マジックで脚長を記入する。

（図面の不具合，不明瞭な点は必ず図面作成部所へ確認すること）

記入例
（白マジックで明瞭に）

2．溶接施工要領

①　吊金具およびその付属部材の溶接施工者はＮＫ-２Ｖ以上の資格者とする（協力工も同じ）。

②　指示された脚長を必ず守ること。

③　溶接完了後，施工者名を吊金具の先端部側面に記名すること。

④　溶接完了後，のど厚を計測し，不足なら再溶接，十分であれば上記吊金具部にＯＫのサインをすること。

溶接要領書の例(一部抜粋)

次いで、工事を受注した場合、その基準書から、その構造物に適用する溶接法、例えば今回の工事はサブマージアーク溶接法を使わないなら、その項目を除くなどで、必要なもののみを抽出し、その工事専用の**溶接要領書**を作り、発注者側の事前承認を受けることが原則となっています。

溶接要領書の内容としては、使用される鋼種に対しての、溶接方法と溶接材料の銘柄組み合わせ、開先形状、作業員の技能資格程度、それに溶接結果に適用する検査方法など、実作業をどのように展開し溶接品質を確保するかが、骨子となります。

この溶接要領書は厳密には契約書の一つでもあるわけで、確実に履行されなければならないので、あまり格好の良い理想的なことを書くことや、変更点を見落とすことは禁物です。例えば、溶接前にペンキや黒皮を除去して溶接しますと書いてあったが、実作業はそうでなかったため、発注者からビードの除去による再溶接を要求されたとか、不合格品として受け

取りを拒否されたとする話が残っています。

これらのことは、溶接技術的に問題はないとしても、契約としては違法ですので、発注者側の見解に従わねばなりません。溶接材料の銘柄などは、工場内で時々変わつたり、要領書に記載したのと異なったものが使われているのを見かけますので、特に注意が必要かと 思います。

溶接要領書については、工事発注者側が過去に同一製品を他工場に多く発注し、その工事についての経験が豊富な場合に、これで工事を進めて欲しいとする、発注者よりの**溶接仕様書**として渡されることがあります。特にその傾向は海外からの受注品に多いようです。

3.3 溶接前処理及び仮付施工

3.3.1 複合材相互の突合せ溶接継手に仮付けを行う場合は、鋼側にだけ細径の被覆アーク溶接棒で仮付け溶接を行い、アルミニウム合金側には仮付けをしない。

3.3.2 複合材相互の突合せ溶接箇所には、同一材種のタブ板を使用するか、溶接の始終端部に欠陥が残らないための適切な措置を講ずる。

3.3.3 溶接する箇所は、塗料、水分、ごみその他有害な付着物を完全に除去して清浄にし、溶接前に乾燥させる。特にアルミニウム合金部の溶接箇所は、表面の酸化皮膜をステンレス鋼製ワイヤブラシにより除去する。

発注者からの溶接仕様書の例(一部抜粋)

××工事溶接作業指示書(2)

(高高張力鋼工事箇所の溶接施工についての特別注意事項)

◎ショートビードについて

○やもう得ず10mm未満のショートビードを置くときは、100±25℃の予熱をする。

○10mm未満のビードを置いてしまった時は、グラインダーにて削除。その後、割れの有無を確認し、10mm以上の溶接を置き直す。

○補修溶接する場合は、ビード長を30mm以上とする。

◎アークストライクについて

○アークストライク箇所の上に長さ10mm以上のビードを置くか、グラインダーにてアークストライクを削除する。

作業指示書の例(一部抜粋)

この場合、往々にして特定の溶接材 料が指定されていたり、開先形状が工場の基準と異なっているなどで、これをそのまま採用すると、作業現場で混乱の起こることがあり得ます。

その折りには工場側の基準と、それについての施 工法確認試験などの工場内の基礎データを持って発注者側と協議を繰り返し、工事前に完全な合意を得ていることが重要です。また、このような変更が決まった場合、別途に個々の作業員向きに変更点を強調した**作業指示書**の作成が必要となります。

○突合せ継手の開先　(開先角度・肩の高さ・板厚と形状・特殊な形状)

溶接される板厚が 4mm 以下ですと、継手となる端部は切りぱなしのいわゆる I 開先と呼ばれている状態での溶接となりますが、それ以上の厚くなりますと溶接独自の開先加工と云う工程が溶接作業前に必要となります。

その形状はアークを板の底部までとどかせることを前提にしていますので、V開先が基本型ですが、板厚が厚くなるに従い溶着金属量は急速に増えることや、溶接変形が大きくなりますのでV以外の形状のも使われるようになります。

I開先
I開先での溶落
I開先での変形
V開先
開先角度
肩
V開先での角変形

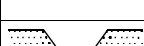
I開先とV開先

具体的のは、厚板で開先を取らずに底部までアークをとどくようにと、少し隙間をあけて溶接した場合を考えてみますと、溶融金属は液体ですから、底部に受けがないと溶落を起します。

それを溶接技能でうまくカバーしたとしても、一回では溶接できず、二回三回などの積み重ね溶接となりますので、一回目の溶接による収縮で起こった角変形で入口が狭まり、二回目の溶接が出来にくくなりますので、開先としては V のような末広がりの角度が望まれます。

マグ溶接での標準V開先と許容範囲の例

管理項目		標準値	管理目標	溶接可能範囲
開先角度	θ	45°≦θ≦50°	θ±5°	-5°≦θ≦+10°
ルート間隙	G	0≦G≦4mm	0≦G＜5mm	0≦G≦6mm
ルート面高さ	R	0≦R≦1.5mm	0≦R≦2mm	0≦R≦3mm
目違い	M t		M≦0.15t 最大3mm	M≦0.15t 最大3mm
ガスノッチ	N		N≦2mm	N≦3mm

これらを考慮しますと、溶落を起こしにくい 1 ～ 2mm 程度の肩高さを持ち、溶接変形が出ても次の層の溶接にあまり影響を与えない開き角度を持った V 開先は魅力ある形状となります。

このような経緯からして、開先の形状や寸法は適用する溶接法とか板厚により異なり、例えば開先の拡がり角度は、溶接中にアーク点が見えることが原則ですから、被覆アーク溶接では 60 度、マグ溶接ではそれより少し狭く、ティグ溶接では先端キャップが邪魔しますので、逆により広く取り 70 ～ 90 度とするのが一般的です。

そして、これらの具体的な数値は開先加工が主としてガス切断で行われますので、その寸法ばらつきや開先間隙の精度などは工場毎で多少の差異がありますので、それらの許容範囲を知り、それを前提とした工場独自のものが設定されます。

板厚と開先形状の例　(mm)

開先形状	被覆アーク溶接	サブマージアーク溶接
	2～4	3～12
	4～	12～25
	20～	25～
	－	15～
	－	40～

開先形状としては、V開先は加工が単純で費用もさほでなく、両面溶接の場合では表溶接で大部分の仕事を終えるなどの魅力がありますので、最も採用率の高い形状です。

しかし、板厚が増しますと急速に増える溶接材料の使用量と溶接後の角変形が気になってきます。このため、開先の加工費は多少かさみますが、両側VのX開先を採用しているところがあります。その場合、表裏の V の比率は角変形量を相殺できることに配慮して、通常は 6:4 ～ 8:2 までの範囲が使われます。

U開先については、ガス切断ではできず、加工費の高い機械加工となりますが、開先精度が優れていることや、厚板ではV開先に比べ溶接材料が少なくて済むなどで、総合コスト面で利点が高いとして、主として高度な継手品質の要求される圧力容器や機械部品の継手などに適用されます。この開先も板厚 100mm などの極厚板になりますと、溶接材料の使用量が増えますので、両側UのH開先となります。

一方、ルート面の高さについては、溶込み深さで決まりますので、例えば被覆アーク溶接では 1 ～ 2mm 程度、それより深く溶け込むマグ溶接では 1 ～ 3mm 程度、さらに深いサブマージアーク溶接になりますと 6 ～ 10mm 程度と、溶接法により異なった数値が採用されます。

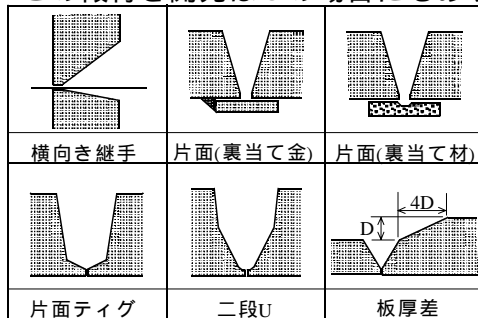
一般的なV、X、U開先に対して、溶接継手位置などが特殊な時には、その場に合った形状が使われます。例えば、横向き姿勢での継手では、下向きに近い姿勢での溶接比率が増えるように、下部角度を少なく、その分上部角度を増す不均等なV開先となります。

また、最近増えている片側からの溶接のみで済ませる片面溶接では、底部の溶接が完全に出来るように間隙を 4mm 以上と拡げ、それに見合うように開先角度を狭め 40 度以下にするなどのことが行われています。　そして小電流を使い、3mm 以下の薄板の片面溶接が容易にできるティグ溶接で施工する場合では、初層の溶接箇所を薄板に似せた段付き開先を機械

片面溶接開先(裏当て材使用)

加工で行い、裏ビードが容易に作れる形状としています。

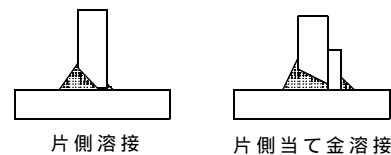
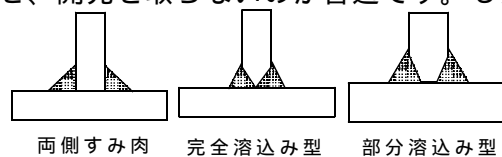
この段付き開先はUの場合にもあります。これは極厚板を表側の溶接のみで大部分を済ませるとなりますと、Uといえども溶接材料の使用量が無視出来ぬほど多くなりますので、途中から一般的な 5 ～ 10 度の角度を狭め、3 ～ 5 度とする段差を付けた二段 U 開先として経済的な効果を出しています。

特殊な開先形状の例

それに、段付きは板厚差のある場合に採用されます。普通 3mm 程度までの差ではそのままでの施工となりますが、それ以上に差が出ますと厚板側を削り、その先端を薄板側と同厚にして溶接するテーパ加工が行われます。これは応力の流れをスムースに、溶接をやりやすい、それに構造物としての無駄を除去しての重量軽減が目的です。

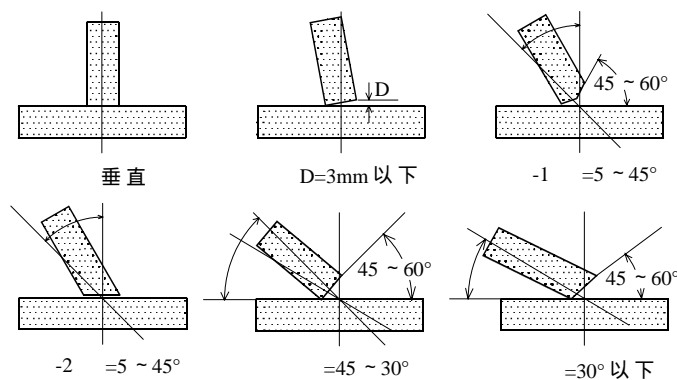
この時のテーパ角度は、ガス加工のできる限界の 25 度とか、板厚差の 4 倍の距離からとする基準が一般的に採用されています。

○すみ肉継手の開先(完全溶込み・部分溶込み・傾斜継手)

すみ肉継手は、原則的には両側からの溶接で済ませ、開先を取らないのが普通です。しかし、この方法では立ち板の中央部に板厚相当分のトンネル箇所を残すことになりますので、前のすみ肉継手の項で述べましたように、振動の多い継手や、突合せ継手的外力が強くかかるような箇所では、この箇所を無くするための完全溶込み型が採用されます。

両側すみ肉　完全溶込み型　部分溶込み型
片側溶接　片側当て金溶接

すみ肉継手形状の種類

また、厚板などでトンネル部を少なく、外見上の脚長を少なくとする場合は部分溶込み型の開先を取っての溶接となります。その他では、両側溶接で反対側の溶接がしにくい時に、手前側の溶接量を増やす手だてとして開先をとることがあります。

それに反対側からの溶接が不能の場合には、当て金を使っての片面溶接となりますが、この時は当て金部までみえるように開先が取られます。

傾斜部材でのすみ肉継手での開先形状

一方、一般的な垂直継手ではなく傾斜継手の場合は斜交角度の程度により、図のような種々の端部加工が行われて対応されています。

①の段階では増えた隙間分だけ増脚長でとなります。これが③の状態になりますと、開口側で板厚の半分程度までアークのとどくように開先を取るか、垂直溶接と同様に水平部材に密着する形状に立ち部材を傾斜加工するかの何れかが採用されます。

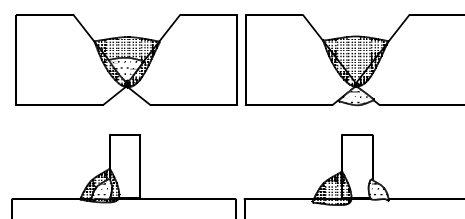
さらに傾むきを増した④では、開口部が片側溶接と同一形状となりますので、切りぱなしで特別な端部加工は不要とされます。非常に低角度の⑤の段階になりますと、開口部が60度以上となり、溶接材料の消費が増えますので、逆傾斜の加工処理が行われます。

○仮付け溶接(仮付け位置・棒径・溶接長・仮付け割れ)

溶接前に部材を図面通りに組み上げ、溶接箇所などで部分的に固定する作業を仮付け溶接と呼んでいます。その目的は部材位置の正確な確保と、周辺の本溶接による剥がれや転倒防止などですが、それと同時に、その上から施工される本溶接の品質に影響を与えないことが要求されます。

しかし、この仮付け溶接作業は、普通は工場内での仮付け溶接資格として、二三週間程度の溶接技能訓練を受けた、部材の組立·位置決めを行う組立職が行う場合が多いため、時により仮付け箇所での、溶接品質を云々される場合が起こり得ます。

小脚長溶接での仮付け部の膨らみ

一般的には仮付けビード上を本溶接が走りますので、例えば小脚長のすみ肉溶接では、仮付けビードのあった箇所がふくらむとか、突合せ溶接箇所では、本溶接が仮付けビードを溶かし切れずに、仮付けビード内の欠陥を残してしまうことがあります。

仮付け溶接と本溶接箇所

これにより起こり得る溶接欠陥の発生を嫌う、重要構造継手などでは、裏面側よりの仮付けで、表側の溶接終了後に、仮付けビードを除去し裏面溶接をするとか、仮付けされた側から溶接する場合でも、仮付け箇所を避けて本溶接し、その後に仮付けビードを除去で本溶接を続行するとか、工数的には不利となりますが、組立職と溶接職が組んでの二人作業で、仮付け溶接を溶接職が担当するなど、種々の工夫がされています。

短いビードを数多く溶接する仮付け用の溶接棒については、被覆棒では作業性の良さと再アーク性の高さ、それにスラグ除去の容易さに配慮した、仮付け専用棒が市販されていますで、これを使うこともありますが、作業量が少ないと本溶接と同じものでとされているケースが多いようです。

棒径はビードが大きくなるのを嫌いますので、表のような細径棒が普通は採用されています。

仮付け棒径と板厚

棒径(mm)	適用板厚(mm)
1.6	〜3
2.4	2〜5
3.2	4〜5
4.0	12〜

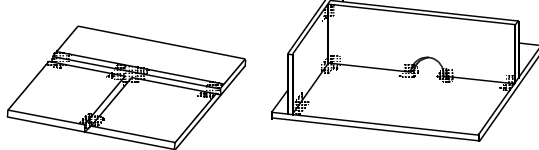
この時、例えば本溶接がサブマージアーク溶接ですと、イルミナイト系の被覆棒による仮付け箇所では、ブロホールの発生量が高いとして、低水素系が推奨されるなど、本溶接ビードとの相性みたいなものがありますので、仮付け棒の選択時にはメーカ側に問いかけるなど、事前の確認が必要かと思います。なお、マグ溶接ではこの仮付け·本溶接での区別はなさそうです。

仮付けは断続溶接で出来るだけ少なくが原則となりますが、部材形状による転倒に配慮しますと溶接長やピッチは、場所場所での現場的な判断が要求されます。 しかし、普通は工場毎の溶接基準で構造毎に規程され、それに従っての施工となります。

具体的な溶接長としては、板厚を基準として極薄板の点溶接的なものもありますが、普通は30〜70mm程度ではと思われます。ピッチについては、これも構造部位により150〜500mmと50mmピッチ

で規定されているのをみかけます。

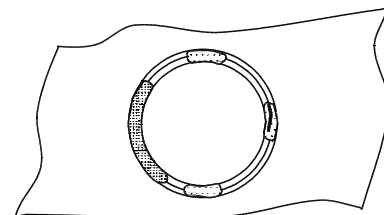
仮付け溶接を避ける箇所

仮付けビードの位置については、より高い溶接品質が要求される箇所や、継手の交点とか端部など、本溶接のしにくい箇所にビードを置くことは本溶接の妨げとなりますので、避けることが原則となっています。

しかし、この箇所は仮付け側からみますと、部材の転倒防止などで最も効果的な位置であるため、ややもすると遵守されない傾向がありますので、日常管理の徹底が重要になってきます。

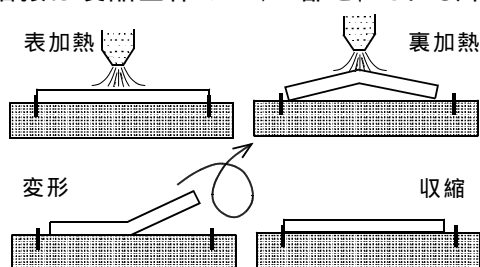
仮付け溶接の順序としては、一端から他端への一方向と規定されている場合が多いのですが、長尺ものでの実状は、部材の変形状態などにより中央から端部へなど、経験により臨機応変な処理がされていることが多いようです。ただ、立向継手については、全て上から下への仮付け順序とされています。

仮付け溶接でのビード割れについては、仮付け時に開先間隙過大などで橋渡しビードを置いたために割れたとするのと、昼間の仮付けビードが夜間になって構造部位の冷却収縮で外力に負けて、仮付け箇所が割れてしまったとする仮付け後の割れがあります。後者については、割れそうな箇所は板厚の半分程度まで本溶接を済ませ、夜間まで仮付け状態を持ち込まない処置が必要となります。

その他で時々見かけるのに、円盤のはめ込み溶接で仮付け溶接箇所の片側を本溶接しますと、その収縮で今まで健全であった反対側の仮付けビードが切れてしまうとするのがあります。

したがって、この種の箇所での本溶接時は一方向の溶接を終えた場合、反対面の仮付け ビードの確認をすることを、作業員に習慣ずける必要があります。これを怠り溶接を続けると、本溶接ビードの割れに結びついてしまいます。

はめ込み溶接での仮付け割れ

○溶接周辺の拘束（拘束ｼﾞｸﾞ・ｽﾄﾛﾝｸﾞﾊﾞｯｸ・すみ肉用ｼﾞｸﾞ・逆歪み法）

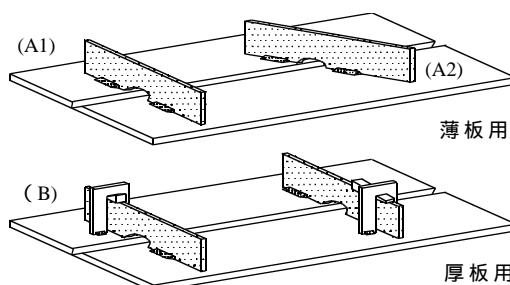
溶接は製品全体のごく一部を、それも片側からの局所加熱で、それに急冷が加わりますので、平板をガスで線上に加熱した時と同じように、折り曲がりの角変形が容易に起こります。そしてそれを修正するため裏面に熱を加えると、元の寸法より短くなる縮小現象も起こります。

局所加熱での曲げ変形と収縮

溶接でのこの変形と収縮の発生は、図面通りに正確にもの作りをするとする生産技術の基本原則にもとりますので、これらを如何に抑えるかが、溶接施工での重要課題の一つになります。

実施工では、収縮を妨げると構造内に残留応力と呼ばれている力が残り、これが部材強度に影響を与えることもありますので、溶接時は出来るだけ自由に収縮させるようとする場合と、完全拘束をして収縮変形共に抑え込み、残留応力を無視する場合とがあります。薄板構造では後者の考えが強く出ているようです。

そして変形に対しては、その出る方向を事前に予測して、それと逆方向にあらかじめ変形させて

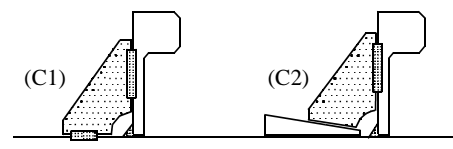
おく逆歪み法か、拘束ジグなどを使つて、これも出てきそうな変形を徹底的に抑え込む方法を、採用するのが一般的です。

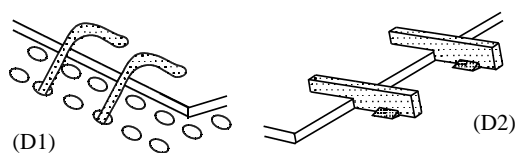
この拘束ジグの一つに突合せ継手に使用されている、ストロングバックと呼ばれているジグがあります。薄板用のもの(A1)は、溶接線に直交して跨り、片側からの仮付け溶接でジグを固定しますので、収縮も変形も許さないとする完全拘束型のものです。

ストロングバックの取り付け

本溶接を終えて目的を達した後には、ハンマーでの叩き折りなどでジグを除去しますが、この時点で多少の収縮は起こります。そして、残った仮付けビード跡はグラインダーで仕上げで補修されます。

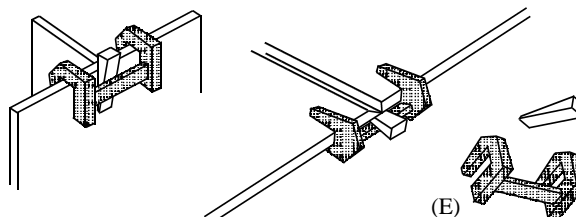
この方法は仮付けビードが母材を傷つける欠点がありますが、最も単純で効果的な拘束ジグとして多用されています。溶接部の板厚が多少増してきますと、直交ではなく傾斜させて取り付け(A2)、収縮については多少の自由度を持たせる方法が採られます。

ストロングバックの取り付け状況

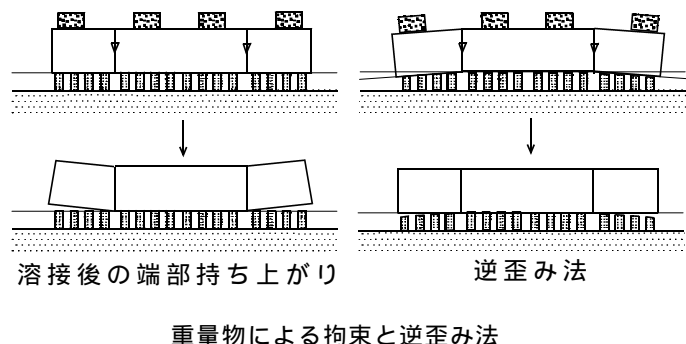
そして、さらに板厚が増し、具体的には20mm以上になりますと、(A1)(A2)では本溶接での収縮力に耐えきれず、本溶接の作業中に仮付けビードが切れるだけでなく、時には切れると同時にストロングバックが空中へ飛び上がるなどのことも起こり危険ですので、門型ジグと金矢を使い、変形は拘束しますが、収縮は自由にとする(B)の方式が、取り付け作業で多少面倒さは増しますが、より好ましいジグとして採用 されています。

この突合せに対して、すみ肉継手では単純な三角板とか、倒れ止めと呼ばれているジグが使われます。普通は(C1)で、立て板側のみの仮付けですが、両側溶接の何れから溶接されるか分からない時は、底部側の仮付け溶接も行われます。これに対して仮付け溶接後に金矢を打ち込み、逆歪みをつけておく(C2)のような方法が採られることもあります。

すみ肉溶接用のジグ

端部拘束のジグの例(1)

一方、溶接することで最も歪みの出やすい部材の端部については、蜂の巣定盤からの簡便な押さえ棒(D1)での拘束法もありますが、多くは定盤側に仮付け溶接で行う段差型の単純な拘束ジグ(D2)が使われている場合が多いようです。

また、端部専用で突合せとすみ肉継手の両用に使われ、母材も仮付け溶接で傷つけないジグとして重宝されているのに(E)のようなものが工場毎に工夫し利用されています。

端部拘束ジグの例(2)

溶接される製品が大きい構造物とか、長尺ものになりますと、構造物全体として端部の持ち上がり変形や、ねじれが起こりますので、これに対しては溶接前にコンクリート・ブロックやスクラップ箱のような重量物を乗せる方法での持ち上がりや跳ね上がり防止の拘束法が効果的のようです。

重量物による拘束と逆歪み法

この場合、長尺ものでは溶接後に拘束に使った重量物を除去しますと、多少の持ち上がりが起こりますので、その変形量を見込んだ逆歪みを事前に付けておく方法が採用さています。

その持ち下げ量の具体的数値は、過去の類似製品の実績から予量決定がされます。

これらの拘束ジグ取り外しについては、他に流用したいとして溶接後すぐに除去しますと、拘束の効果はほとんどなくなりますので、少なくとも溶接部が手で触れる程度まで待っ必要があります。

そして、ジグ除去後の母材上の仮付けビード跡の処理では、仮付け溶接が小さなビードのため、一段と急熱急冷の影響を受けて局部硬化をおこし、高張力鋼などでは微細割れに至っていることもあり得ますので、グラインダー仕上げ後に探傷試験を必要とする場合があります。

○作業前の確認(保護具・機器とケーブル・溶接材料の乾燥)

溶接作業を順調に進めるためには、溶接作業者が行動し易い環境にあるのかの周辺状況の確認が必要です。

具体的なものとしては、作業員が身につける保護具、機器の周辺、それに溶接品質に影響を与える溶接材料の保管などが常識的に挙げられますが、見過ごしされ易いものでは、電源容量不足やアース回路不良、それに加えスパッターの飛散による火災防止策やヒューム対策などがあります。

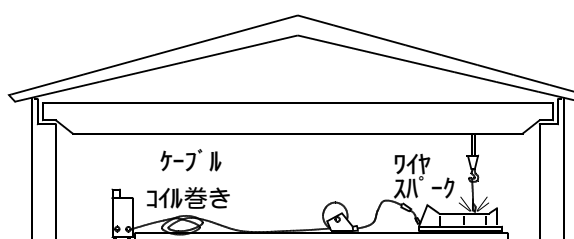
保護具の、感電事故や火傷防止を目的とした手袋などのカバー類では、ほころびと汚れ程度について、毎日の始業前点検が必要です。

しゃ光ガラスは、その濃さが、個人差のあることや溶接法やガウジングでアークの強さの異なりますので、適合品が使われているのかの確認がいります。

溶接機の周辺では、電源容量と使用溶接機台数が合っているかが問題です。工場内の個々の変電室の電源容量に対して、溶接機数が過大に結線されていますと、隣でアークを出すと自分のアークがふらつくとか、インバータ機などでは、電圧降下が起こることで自動的に安全装置が働き電源がで落ちて溶接不能となり、作業意欲を削いでしまう結果となります。

また、溶接機の二次側ケーブルでは、余った長さ分のケーブルをコイル状にしたままで作業しますと、ケーブルが加熱し、破損度を高めることになります。

そして、アースの接続不良がありますと、その接点からの火災が起こり得ますし、工場建家で不適切なアース回路を作ってしまうと、天井クレーンのワイヤと部材間でスパークが飛び、ワイヤの細線切れ起こすこともあります。

ケーブルの加熱とクレーンワイヤのスパーク

溶接材料については、被覆棒の場合は吸湿が

被覆棒の乾燥器

ブロホールなどの溶接欠陥と直接結びつきますので、所定の乾燥器の使用が重要ですので、その状況を定期的なパトロールでの確認が必要となります。

　なお、マグ溶接用のワイヤ類については乾燥の要なしとされていますが、さびやほこりの付着は影響が考えられますので、専用保管庫の配置が望まれます。

◎溶接作業のこと

溶接作業を順調に進めるためには、開先の清掃や予熱の可否などの溶接直前の周辺条件を整えること、技能レベルにより異なる溶接条件設定の微妙な差異を知ること、溶接順序を含む作業手順を確認すること、それに補修溶接時では、その作業過程の記録を残すなどが重要となります。

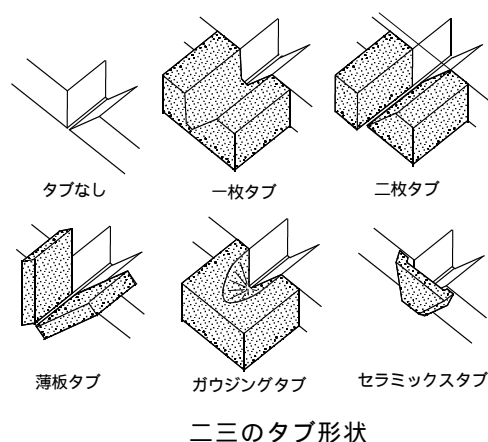
○溶接直前の準備作業(**タブ**・**開先清掃**・**予熱**)

溶接直前の準備作業の一つに、突合せ継手の溶接線端部への**タブ**の取り付け作業があります。これは溶接の始終端では、アーク周辺が十分に保護されていないことによる大気の侵入などがあるため、ブロホール類の溶接欠陥が出易いことへの対応として、万一欠陥が出てもそれをタブ内に留めるとする考えで取り付けられるものです。

タブ付き溶接作業

したがって、溶接終了後にはこのタブをガス切断などで切り捨て仕上げをし、本来の溶接線内は全て健全な溶接ビードですとなります。

一方この考えに対して、溶接技能があるレベル以上ですと、タブを使わないでバックステップなどのうまい運棒操作で欠陥は出ないし、このほうが溶接後のタブの切り捨て作業も不要となるので能率的だとする見方があります。

二三のタブ形状

しかし、全般的にはより確実な溶接をとなると、やはりタブ工法が望ましく、重要継手では取り付けが確実に履行されています。

タブの形状としては、溶接線内とほぼ同一の開先を持っていることや継手端部の不揃いへの適用度が高いなどで、ほぼ母材と同厚の二枚板のを使うのが一般的です。

その他では薄板で開先を作る方法、平板のを取り付け後にガウジングで開先作りをする方法、セラミック製の市販既成品タブを使う方法などもあります。

これらのタブは作業場でたまたま見つけた残材で切り出し製作をとするのではなく、工場内の標準としてタブ形状を設定し、ジグ準備場で専門的に製作し、在庫の確保や作業場へ配送へとする管理が必要です。

なお、このタブ工法はすみ肉継手の自由端にも適用できますが、バックステップの運棒法で充分対応できるためか、こちらのほうは実施例は少ないようです。

次ぎの準備作業としては、開先内の**清掃**があります。溶接ビードでのブロホールや割れに影響を与える、水分、さび、ペンキ、油、ほこり類、それに融合不良を起こしやすい仮付けビードなどのスラグ取りが目的で行われます。

		ﾌﾞﾛﾎｰﾙ発生個数
赤錆状態	ﾍﾟｲﾝﾄ塗布	36
赤錆状態	黒皮状態	10
赤錆状態	G仕上げ	6
黒皮状態	G仕上げ	6
G仕上げ	G仕上げ	0

G:ｸﾞﾗｲﾝﾀﾞ

溶接面とﾌﾞﾛﾎｰﾙの試験結果

この清掃の効果については、表のようなブロホールの出易いすみ肉溶接ビードについての実験結果で、その効果程度が理解できるかと思います。

具体的な清掃は、ワイヤブラシでとするのがほとんどですが、清掃面が多い場合ではグラインダとかショットブラストを使うこともあります。

プロパン・バーナでの予熱作業

しかし、経験的にはガスバーナによる加熱が、開先内の水分の完全除去と、ほこりなどの焼き切りが同時にできますので、最も効果的な方法ではと考えます。

バーナ加熱に関連しますと、もう一つの溶接前作業として**予熱**があります。

軟鋼では、厚板で気温の低い時にとされていますが、この作業の目的としては、①溶接近くの温度勾配を緩やかにすることで変形を少なくできる。②溶接後の冷却速度が低くなるので、割れの危険性を減少させる。③開先面の水素分を除去するので、ブロホールや割れの発生を少なくなる。そして④溶接熱影響部の硬化が冷却速度の低下で軽減できるなどがあげられています。

これまでの施工実績からみますと、不純分の多い規格ぎりぎりの軟鋼や、少し炭素量の高い鋼材を溶接し割れが出た折りに、この予熱を加えることで、以後割れが出なくなることが多いようです。

予熱の方法としては、ガスバーナから炉内でとするものまで、種々の器具が使われていますが、一般的にはカロリーが高くて経済的で軽便なプロパン・バーナによるものが多いようです。また、一部極厚板などに対しては、表面だけでなく板の内部までも充分に予熱温度へとの配慮からか、前夜にヒータをセットし、翌朝から溶接開始とする専用のパネル電気ヒータ方式が採られる場合があります。

予熱温度については、鋼種、気温、板厚により異なっているだけでなく、各構造毎で基準として決められていますが、建築や造船などの業界によっては設定温度に多少の差異があります。

予熱温度についての基準例

鋼種 ＼ 板厚(mm)	6～12	12～25	25～50	50～100	100以上
420N/mm² (SS400級)	予熱なし	予熱なし			
490N/mm² (50ｷﾛ級)					

(網掛け凡例) :気温低下時50℃　:80～100℃　:150～200℃

これはそれぞれの産業分野での部材形状の違いなどによる経験則が加わったためかと思われます。したがって、予熱施工時には関係する業界の基準に従っての温度設定をとなります。

テンピルスティック

この予熱温度の計測では、鉛筆状のろう棒で、規定の温度になると溶け出すテンピルスティック(TEMPIL STICK)か、表面温度計によるのが一般的です。その計測位置も開先内ではなく、溶接線から板厚の三倍または50㎜離れた箇所で計測をとする規定も見かけます。

しかし、予熱時に留意すべきことは溶接部周辺を断熱材巻きにするなどの予熱温度保持の工夫かと思われます。

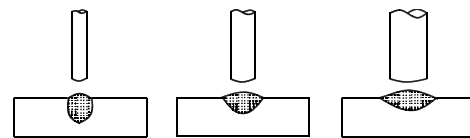
〇溶接条件の選定(棒径・ﾄｰﾁ角度・ﾄｰﾁ位置・電圧・電流・速度)

溶接作業時の現場での選択肢としては、溶接棒径、トーチの保持角度や位置、それに溶接電圧、電流、速度があります。

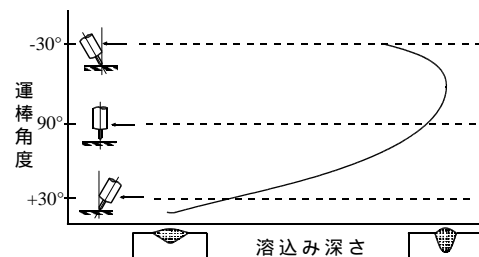
まず**溶接棒径**の選定には、溶接方法によりほぼ決まっているようですが、自由度のある場合は板厚を基準とした選定となり、それも単一棒径のみでの施工と、板厚が増しますと二三種の径を使い分けする場合があります。

被覆アーク溶接での突合せ継手の開先内では、4㎜φ棒での初層溶接が普通となっています。これを能率を上げたいとして、無理にはじめから太径棒を使うと、溶込みが得られず、底部を溶かしきれないために欠陥の内包率が高くなったり、裏はつり量が増えたりで、結果的に非能率な施工となってしまいます。この場合は二層以後では5～8㎜φ棒が段階的に使い分けが行われます。

すみ肉溶接でも同様で、規定脚長と同径か1～2㎜小さい棒径での作業が普通ですが、これをより太径棒の使用となりますと、要求脚長より大きくなり、溶接歪みも増えますので、経済的にマイナスの面のみが目立つてきます。

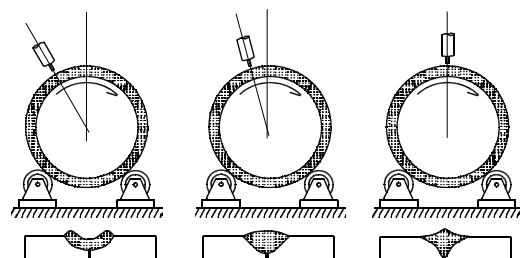
非消耗のタングステン電極を持つティグ溶接の場合では、他の溶接条件が同一で電極の径のみを変化させると、図のように溶け込み深さやビード幅の形状が異なりますので、溶接目的に合った径が選ばれています。

ティグ溶接での棒径とビード形状

マグ溶接の場合は、普通は1.0～1.2㎜φが使われています。これに対して、一部でより太径ワイヤを使い能率的に施工されているところがあり、これを見て理屈抜きで生産性が高まるとし真似ると、結果的に溶接不良率が高まり失敗となることが多いようです。

この場合は、溶接技能があるレベル以上の人のみが使える棒径なので、太径ワイヤ採用時にはそれなりの技能訓練を事前に施し、作業者を選別しての後の施工へとする手順が肝要です。

運棒角度と溶込み

トーチの角度では、前進角(+)と後退角(-)があり、それにより溶込み形状が異なります。マグ溶接の一般的なものでは前進角10～30°が普通で、まれに下向姿勢で深溶込みの欲しい場合に、後退角が使われることがあります。

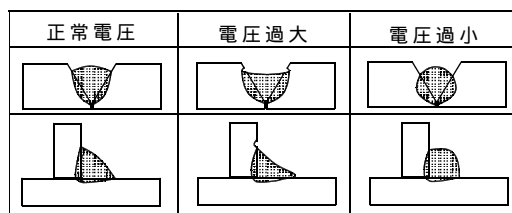
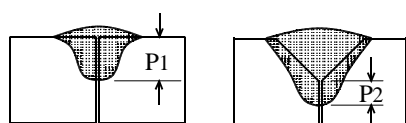
ティグ溶接の場合も同様で、前進角がほとんどですが、立向姿勢の溶接では水平位置が使われるようです。

それから、少し特殊な場合かもしれませんが、胴の円周方向での**トーチ位置**の選定では、図のような傾向があります。このため、トーチ位置の決定は溶融池の大きさを基準として、その池の固化が円の頂上で始まる位置が最適だとして設定されます。

胴の円周溶接とトーチ位置

溶接法や棒径などが決まりますと、次は与えるエネルギーとなる溶接電圧、電流、速度の選定があげられます。これらの多くは溶接材料や

溶接機器メーカのカタログで､標準条件的なものがある範囲を持って記載されていますので､これを足がかりに自工場で最適と思われるものを、開先精度の実状や特に角度と間隙程度を把握して、実験で確認しながらの決定となります。

溶接電圧は主として雰囲気ガスなどで決まり、5 ～ 50V 程度の比較的狭い範囲内にその適正値があるようです。普通はアーク電圧と云うと母材と溶接棒間の距離として受け止められており、溶接ビード幅を決める因子とされています。

具体的には、図に示すように正常値から外れてきますと、カットが出たり、次層の溶接を邪魔するような余盛高さになってしまいます。

溶接電圧とビード断面形状

P_1(mm)= 溶接電流(A) ÷100

P_2(mm)=0.7 × 溶接電流(A) ÷100

溶接電流と溶込み深さ

溶接電流の場合は、溶込み深さと作業能率を示す因子として見られています。溶込み深さについては、サブマージアーク溶接の例では、経験的なものではありますが、図のようなのがあります。

また、この溶接法では棒径(単位 mm)の 100 ～ 200 倍の範囲に溶接電流の適正値があるとされています。この電流が過大となってきますと、過剰溶込みによる高温割れの原因を作ります。これが被覆アーク溶接やマグ溶接の場合では、スパッタ増の現象が強くなってきます。

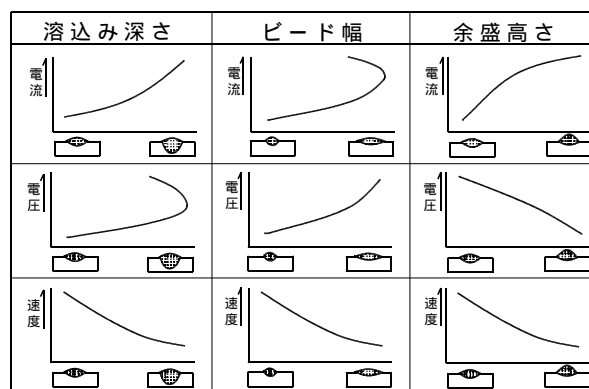
溶接速度は一般的に作業能率を示す因子と受け止められ、できるだけ速くすることが好ましいとされています。

しかし、他の条件をあまり変えずに、能率優先として速度を高めて行きますと、溶接ビードは細く、鋭角の三角波の度合いがきつくなり、溶接欠陥の発生度が多くなってきます。

例えばマグ溶接による水平すみ肉の自動溶接の場合で見ますと、800mm/分程度までの速度では、まずピットなどの欠陥とは無縁な溶接ビードが得られます。

これが 1M/分の速度を超えますと、ピットが目立ちはじめ、仮付け溶接時の部材の密着性と溶接面の清掃を、これまでより格段に向上させないと、このピットの発生を防ぎ切れません。したがって総合的にみますと、溶接速度を上げることは必ずしも経済的な方法とは言い得なくなります。

このような溶接電圧、電流、速度のそれぞれの効果傾向をまとめますと図のようになります。

これらからして、工場としてはメーカのカタログなどを参考にして、平均的な技能を持つ作業員が、欠陥を出さないで作業しうる溶接条件を選択し、工場標準に組み込むことが重要になります。

溶接条件とビード断面形状

○溶接作業(溶接手順・溶接待て・ﾊﾟｽ間温度・ｽﾊﾟｯﾀ)

溶接をはじめる場合、一つの製品で溶接箇所が多いとその順番がまず問題となりますが、それの基本的なことは先の基礎編の溶接順序の項で述べていますので、ここでは作業手順や作業員の投入方法について考えてみます。

一つの製品を一人で溶接する場合、変形を最小限に抑えるための順序を守りながら、ある範囲は試行錯誤で決めていますが、結果的には変形は零とはなりえません。

したがって、同一製品を数多く溶接する場合では、一度決めた順序で繰り返し作業しますと、出てくる溶接変形の傾向が同じようなり、後の歪み取り作業が容易になりますので、ばらばらな場当たり的な順序は避けるべきかと思います。

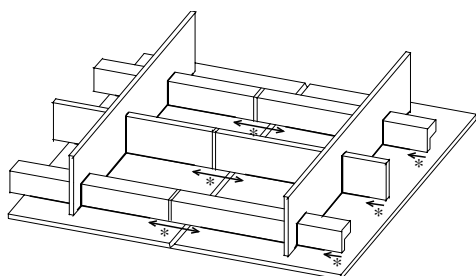
多員数による一斉溶接の例

また、一製品で溶接量が多く何日もかかるような場合ですと、多人数での集中溶接と、一人で長時間かけてとする二つの考え方があります。

前者は溶接熱での製品丸焼き的な発想で、この一斉加熱、一斉冷却で熱の不均衡がなくなり、製品全体としての変形は少なくなるとしています。

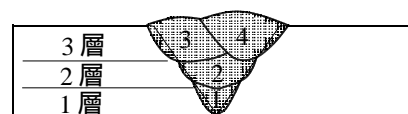
これに対して後者は、製品全体から見て、何れに熱を加えたか分からない状況を少しずつ続けることで、小さな変形が出ても大きくはなりにくいために、全体として変形は少ないとしています。

現状でのこれらについての判断は、板厚や製品形状の影響が強いこともあり、何れの見方が正しいのかの結論が出されていません。しかし、この中間の中途半端な作業員投入が、変形増加を起こしていることは確かなようです。

ブロック継手での溶接待て箇所(*)

これで製品が一段と大きくなりますと、適当なサイズにブロック分割し、それぞれ溶接を終えたブロック間を最後に接合する作業が行われます。この個々のブロック端部の接合点付近では、通常**溶接待て**が行われています。

これは接合点付近で発生し易い寸法誤差の修正を容易にするためと、端部まで溶接してしまいますと、接合部溶接時の収縮代がなくなり、この部の残留応力増加することを恐れての処置です。

実作業面では、未溶接箇所を残すと云うことで多少の躊躇があるためか、管理を怠りますと溶接待ての程度が乱れ、部分的に溶接待てなしの箇所が散見されますので、一般的な片側150mm はともかく、少なくとも片側 70mm 程度の溶接待ては、確実に実施されるべきかと考えます。

次いで作業面で守られるべきものとしては、**パス間温度**があります。これを一部では層間温度とも呼ばれていますが、厳密に云いますとパスと層とは図のように異なります。

層数(3)とパス数(4)

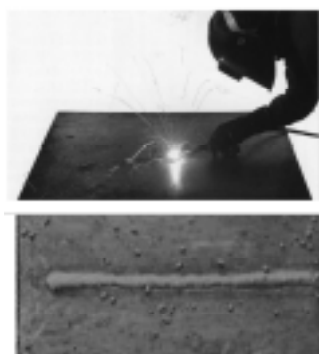
このパス間温度は、厚板で短い溶接線の多層連続溶接の場合、先の溶接が冷えない内に次から次へと溶接を重ねて行くことを禁ずるものです。それは、間断なく積み上げ溶接を続

けますと、あたかも大きな溶融池での一回溶接で済ませたと類似する結果となり、熱影響部の幅は広がり溶着金属もパス間の境界が曖昧となり､衝撃値などが低く出てしまうためです。

具体的に、規格(ASME)では、次の層の溶接開始ができる前層のビード温度の上限を、板厚 38mm までは 205 ℃、それ以上の板厚では 230 ℃と規制しています。このように、溶接作業時の温度としては、予熱は最低値を、パス間温度は最高値を決めていますので、この間での溶接作業をとなります。

溶接時のスパッタ

その他では**スパッタ**(SPATTER)の問題があります。溶接時は溶接棒から溶融金属の全てが流れるように溶融池に移つて行けば最高ですが、アーク力や、小さなガス爆発、それに棒の溶け具合などで、溶融池外にはじき飛ばされる小粒のスパッタは、サブマージアーク溶接のような特殊なものを除きますと、皆無と云う訳ぬはいきません。

マグ溶接の例でみても、スパッタの少ないとされるアルゴン入りのガスを使っても、溶接時のワイヤ消費量の 2%がスパッタだとされています。

このため、溶接電源の工夫で溶滴をできるだけ小粒にするスプレー移行にすることや、シールドガスにアルゴンを加えたり、施工面ではアーク電圧を低く抑え、トーチ角度を立てるようにし、電流波形を乱さないために溶接ケーブルを短くするなどの配慮で対応がされています。

このスパッタは単に溶接面を汚し、後の塗装工程などに悪影響を与えるだけでなく、トーチ周辺にも付着することで、シールドガスの流れを乱し、作業能率にも響いてきます。

トーチノズルへのスパッタ付着

例えばロボット溶接ではスパッタの少ないマグ溶接を使っているのですが、それでも作業時は最小限一時間に一回は休止し、トーチノズルの清掃を行う必要があるとされています。

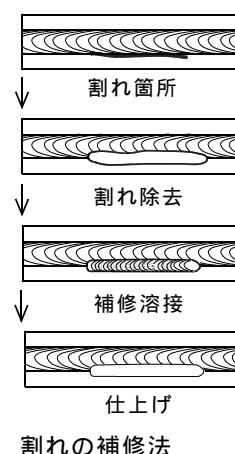
このため、短時間で清掃のできる自動清掃装置などを取り付けたことで、一日の溶接作業量が 30%増えたとする報告なども出ています。しかし一般的なマグ溶接では、付着したスパッタを容易に除去できる防止剤を、作業前やスパッタ除去時にトーチ周辺へ塗布することで対応しています。

○補修溶接(火花試験・ﾋﾟｰﾆﾝｸﾞ・ｽﾄｯﾌﾟﾎｰﾙ)

補修溶接は新製品の製造中での欠陥発生箇所へと、稼働中の古い製品の摩耗や破損箇所に適用されます。

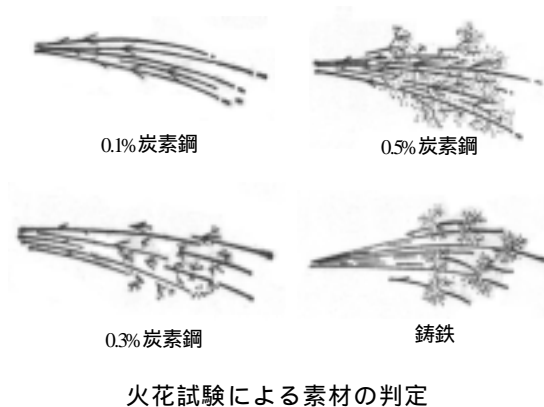
前者の補修ですと、ごく普通に欠陥個所の除去のみの②段階で済ませる場合､③の溶接補修の段階まで､そして④のグラインダー仕上げまでの補修方法があり、その程度は製品毎や構造部位の状況で判断されています。そして、まれに割れ欠陥などでは、これに予熱や後熱作業を附加して作業となることもあります。

割れの補修法

後者の場合では、外観だけで材質の確認ができないなどがあり、相当な失敗経験を持っていないと、補修溶接後すぐにまた割れてし

まったとか、少しのひび割れ箇所に溶接熱を加えたことで全面割れになり、補修ではなく壊してしまったではないかと非難される場合も起こりがちです。

容器の割れ

これらからして古い製品の場合では、溶接を使いどのような補修にするかは、まず壊れた原因と素材の材質を知ることが重要となります。しかし現実的には、壊れた破面がみれないとか、材質が何なのか記録のない場合も多く、簡単なテストで推定し施工せざるを得ないことも少なくありません。

製品が二分され、壊れた破面が観察できますと、基礎編で述べてように破面波の走り具合から起点がわかり、再割れの出ないような方法を加味した補修が採り易くなります。しかし、破面が見れない場合は、製品全体の形状から割れ箇所の応力集中度などを判断したり、破面周辺の表面傷を探傷法などで調べるなどで、素材の劣化程度を判断し、その後に補修手順の決定となります。

火花試験による素材の判定

材質の確認については、分析の結果後が好ましいのですが、短工期の要求される補修作業の性質から、その余裕のない場面が多いようで、そのような折りにはグラインダーかけによる**火花試験**のような簡易法で判断する場合があります。

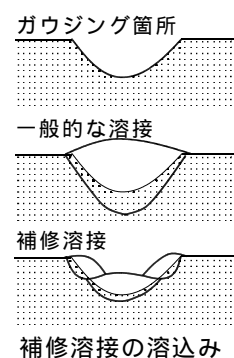
この試験はグラインダーかけにより飛び散る火花の程度や色で、溶接で問題とされる炭素含有量などの程度を判断できるとされている方法です。

経験を積むと、炭素以外の成分も言い当てることが可能とされていますが、普通は成分の知れた軟鋼、二三の高炭素鋼、それに鋳物などを標準試料として、その火花程度と比較して、補修品がどの程度の硬さの素材かを判断して、予熱後熱の必要性や溶接材料の選択が行われます。また、これ以外ではポータブルなショア硬度計を使うのも一つの方法です。

溶接による補修の基本としては、母材を出来るだけ浅く溶かし、溶着金属へ母材成分の入り込むのを最小とすること、変形を抑えるために一回の溶接量を少なくすること、時により一回毎にビードを叩き伸ばす**ピーニング**などを加えて変形修正をすること、それに割れの再発を抑えるために予熱などの熱処理を行うなどがあります。

補修溶接の溶込み

このため、適用する溶接法としては溶け込みの浅いティグ溶接、被覆アーク溶接、場合によりガス溶接やろう付などで、溶込みが深く高能率な溶接法はあまり使われません。

そして溶接材料も普通は割れの出にくく、少し軟らかで伸びの大きい、例えば被覆棒では低水素系の採用が多いようです。

次いで溶接による補修の具体的な例として、摩耗と割れ部品への対応を考えてみますと、摩耗部補修の場合は、その多くがかっての表面硬化か肉盛溶接された箇所のためか、微細割れや剥離などが見られることがありますので、作業はその部の除去からはじまります。

そして肉盛の場合は、母材より硬度の高い溶接棒を使って行われますので、予熱作業は欠かせません。

補修した肉盛ビード

また、補修溶接でのひび割れ防止や、割れが母材側に進んでこないようにとの考えで、母材への第一層の溶接にはごく柔らかい溶接棒を使い、その後は硬度の高い棒をとするクッション材を挟んだような工法を採ることもあります。

割れの補修では、割れ箇所をガウジング除去し、その部の開先作りではじまりますが、このガウジング熱で割れが拡がってくる場合がありますので、この時は割れ端部に丸味を与え、割れ進展をくい止める**ストップホール**を開けてからの開先作りとなります。

また、まれですが補修を終えた途端に隣接箇所に新たな割れが発生する場合があります。その箇所を補修すると、また隣に新しい割れがとなりますので、この時は母材が劣化し溶接に不向きとして、材料の部分取り替えの処置しか方法のないこともあります。

一般的に、素材が鋳物やクレーン・フックなどの鍛造品であった場合では、一段と熟練度の高い補修手順が要求されます。

したがって、割れの程度などが浅い場合はその箇所のグラインダーによる削除のみで終えることが好ましいのですが、傷口が深く溶接補修をせざるを得ない場合で補修経験の浅い折りには、溶接棒の選択も含め溶接材料メーカなどの専門員の助言に従って処置するのが適当かと思います。

割れ箇所
ストップホール開け
開先作り
補修溶接
仕上げ

補修溶接手順の例

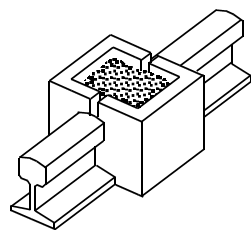
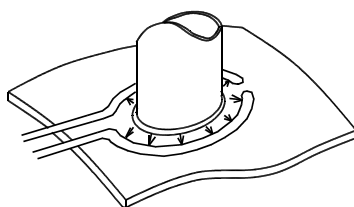
◎溶接後作業のこと

溶接の場合は、溶接を終えるとこと足れりで済みませんで、担当者としては材質により溶接後比較的短い時間で発生するかも知れない割れへの対応や、溶接前にはなかった変形収縮への対応を知ること、それに溶接後の継手材質の改善方法と、出来上がった継手が目的に合ったものになっているかの検査法についても理解しておく必要があります。

○溶接後の熱処理(後熱・溶接後熱処理)

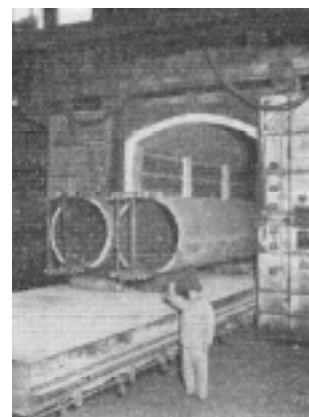
溶接後に行う熱処理としては、溶接直後にその継手に限定して行う後熱と、全ての溶接を終えた後に、その製品全体を炉内などに入れて行う溶接後熱処理の二つがありますが、用語が類似しているためか混同され易い面があります。

まず**後熱**のほうですが、これは普通の軟鋼溶接後ではまず行いません。予熱を加えて溶接したが、それでも割れが止まらないような比較的炭素量が高いとか、合金成分の多い素材が対象となります。

この後熱の目的は、溶着金属内に入り込んだ水素の放出を早めること、溶接熱影響部での局部的に硬くなるのを減少させること、それに少しは残留応力を緩和させるなどで、ねらいは割れの防止です。

後熱の方法

後熱の方法として、かってはレールなどの継手で、周辺をブロックで囲み、木炭粉を投入して溶接熱で点火させ、燃えてそれが灰となるまで自然放置すると云うことも行われていましたが、最近では継手形状に合わせた固定ジグなどを使い、溶接直後のバーナ点火で、350 ℃以上で 10 ～ 20 分程度の連続加熱する方法での処理が一般的のようです。

一方、**溶接後熱処理(Post Weld Heat Treatmennt)**は完成した溶接物を炉内に入れ、650 ℃程度で、板厚 25mm 当たり 1 時間ほど加熱し、その後ゆっくりと炉内放冷させる作業で、製品により規則で温度・時間が厳密に規定されていますので、それに従っての炉内での熱処理となります。

溶接後熱処理用の炉

この目的は、溶接熱で継手部周辺などで材質的に起きた局部変化を均一化させようとするもので、残留応力の緩和や、最高硬度の低下、そしてじん性・延性の改善をとしています。したがって、比較的厚板の圧力容器などで多く採用されています。

その他では一つの製品内で溶接のかたまりのように継手量が多い場合、溶接後に大きなドリル穴をあけますと、内部応力が部分解放されるためか、真円の穴とはならず卵型になったりすることがあります。このため、後刻行うこの種機械加工での形状精度確保を目的として、加工前にこの熱処理が行われる場合もあります。

○歪み取り(ﾌﾟﾚｽ・加熱方法・順序)

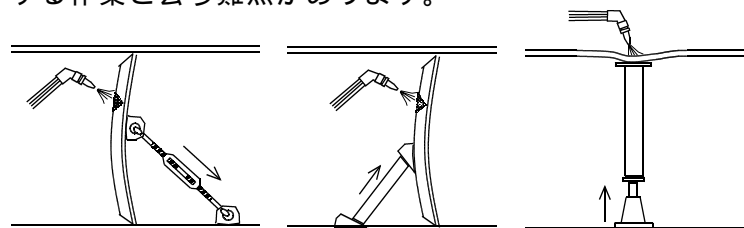
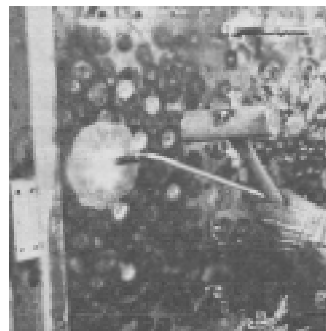
溶接によって起こる変形は、事前の拘束などにもかかわらず、その程度に差はありますが、波打ち、格子内の凹凸、長尺ものでのそりやねじれなどの形で出てきます。したがって、製品の外観上や機能に影響を与える溶接変形に対しては、溶接後にプレスか加熱冷却の方法での歪み取り作業が加えられ、それらが矯正されます。

薄板構造での歪み取り跡

プレスによる場合は、熟練度をあまり必要とせず、材質変化も少ないなどで、好ましい方法なのですが、　製品形状によっては適用できない場合が多いことや、設備費が高く、装備の可搬性に欠けるなどで利用度は少なく、同一形状の溶接品の歪みを連続的に矯正する自動装置をまれに見かける程度です。

これに対して、加熱冷却の方法はガス加熱トーチと冷却水トーチで処理できますので、溶接物の形状による制約はなく可搬性にも優れており、普及度の高いものになっています。

しかし、思うように歪みが取れずかえってねじれを出してしまったとか、歪みは取れたが仕上がり寸法が異常に短くなってしまったなどの問題が出るほど、個人差のある熟練度を要する作業と云う難点があります。

加熱冷却に加圧を重畳させる歪み取り法

この加熱冷却に圧力を加えながらとするずのような方法があり、効果度は非常に高いのですが、複雑作業となることや適用範囲が限られるなどで、比較的変形程度が大きい場合にのみ適用されているようです。

木槌併用の歪み取り作業

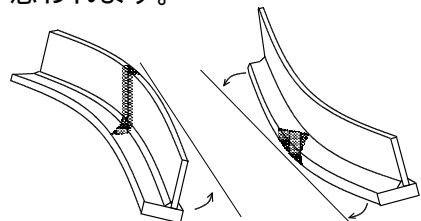
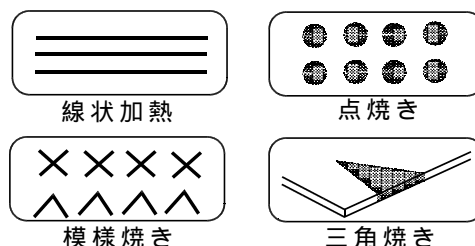
しかし、薄板での点焼きの場合に、水冷トーチだけではなく、木槌によるハンマー打ちも併用しているのを見かけることが多くあります。

加熱冷却での加熱方法は、点、線、面、それに模様状に歪み箇所を含めた周辺を、ガストーチで加熱し、その直後に冷却水をかけるとするのが一般的で す。

したがって、作業員は加熱と冷却トーチの両刀使いの作業となります。しかし、ある説では冷却水は不要で、加熱だけでも時間は少し遅れるが、同じ歪み取り結果が得られるとしていますが、この方法は一部の急冷が出来ないとか、加熱時の最高温度が規制される高張力鋼以外には採用されていないようです。

加熱方法では、大型トーチを使い大きく早くとするのと、小型トーチで幅狭い加熱が効果的との相異なる考えがあります。

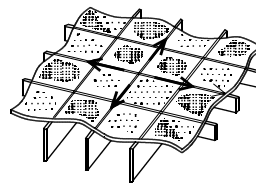
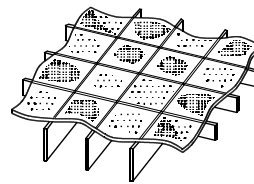
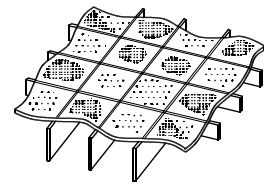
何れが正しいかは、対象物の板厚や形状それに作業員の習熟度により決まるようですが、板表面を溶かしてしまう表面ちりを起こさないことなどを考えますと、小型トーチによるのが一段と経験がいるのではと思われます。

二三の加熱形状

加熱形状は、中板程度は線状加熱が、薄板では点焼きが多く見られます。模様書きは仕上げが 美麗だとされていますが、あまり一般的ではなさそうです。

長尺ものの歪み取り

長尺ものに対しては三角焼きと線か面焼きの併用となり

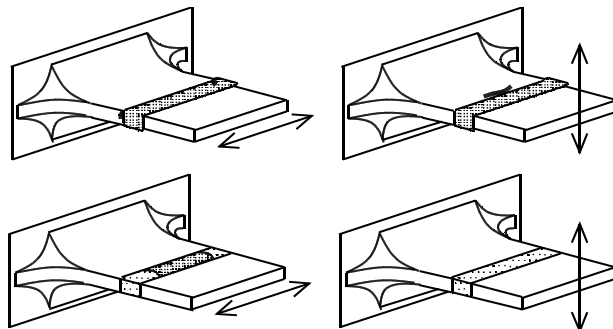
ますが、この際にそりは修正したが、新たなねじれを出してしまったなどが起こり得ますので、部分拘束との組み合わせが効果的のようです。

格子枠などで多くの箇所に大小の歪みが点在発生している場合、どのような順序で歪み取りを行うべきかについては、　Ⓐ枠の中央部から、Ⓑの凸型歪み箇所から、そしてⓒの凹凸に関係なく最大歪み箇所からとする考えがあり、見解が分かれていますが、アンケート結果などをみると、Ⓐの手順でとしているグループが多少多いように見受けられます。

歪み取りの順序

これらのことから、見当をつけられたのではと思いますが、この歪み取りは技能依存度の高い作業で、技術面はこれからの段階にあるのではないかと考えます。

○仕上げ作業(余盛の仕上げ・すみ肉の仕上げ)

溶接後の仕上げ作業の一つに、余盛の削除とビード継ぎ目を分からないように仕上げる場合があります。

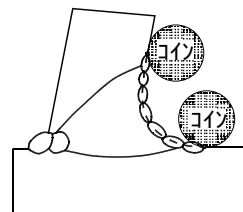
しかし、通常の溶接継手では余盛の膨らみなどは製品の機能上に影響を与えないとして、このような仕上げ作業は行われませんが、一部の溶接製品では外観上や、溶接後の塗装仕上げをより確かにために、それに繰り返し荷重を受ける箇所での疲労面を配慮した構造形状確保のためにこの作業が行われています。

構造上では、頻繁に荷重変動を受ける橋や、振動の多い機械台類、それに応力集中度の高い構造部位では溶接ビードが削除の対象となります。

これについても、割れの出やすい端部のみの仕上げで済まされる場合と、クレーン・ブームなどのように荷重程度が高く継手中央も問題になることがありますので、全ビードが仕上げられる場合があります。

荷重方向と割れ対応としてのビード仕上げ

すみ肉継手も、やはり応力集中度の高いトウ部の形状が重要となりますので、この箇所の仕上げは厚板の圧力容器類では丁寧に行われています。

また、板構造では脚長 10mm 以上の大脚長のまわし溶接部で、パイプ構造では直交、斜交継手箇所でこの仕上げ作業が多く行われています。

例えば、米国での構造物溶接規格では、図のようにコイン(日本での一円硬貨相当)を当てがい、隙間があってはならないと規定しているほど厳密さが要求されますので、ほとんどすみ肉ビード全面にわたってのグラインダ仕上げになることもあります。

規格でのトウ部の仕上げ程度

外観上から仕上げの要求される場合では、溶接後の検査でアンダーカットがあったとかで

補修ビード跡が歴然と残っていますと、新製品なのに補修されているのかとなりますし、車両などの薄物では美観上、ビード継ぎ目がなく一枚板で出来上がっているように見せたいためなどがあります。

この時の仕上げは、余盛ビードの全面グラインダによる削り取り作業となります。
塗装上になりますと、ビード始終端でのふくらみや穴、それにビード継ぎ目の凹凸箇所が対象となります。特に穴部などでスラグが噛んでいますと、塗装後にスラグが剥がれ、そこが発錆起点となり塗装寿命を短くしますので、補修ビードを加えてのグラインダ仕上げか、ショットブラスト類での叩きつぶしをします。

ﾋﾞｰﾄﾞ継ぎ目

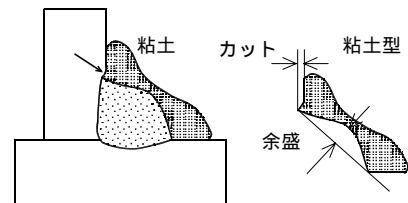
また、ビード継ぎ目へは塗装ムラの出にくいように凹凸部の削りで対応します。これ以外ではスパッタの除去やアークストライク箇所のグラインダ仕上げも塗装上からは好ましいの、これら素材内の溶接周辺部の平滑仕上げも並行作業として行われます。

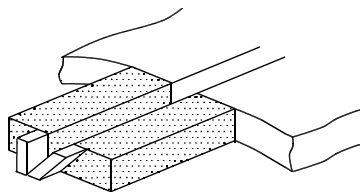
○溶接後の検査(ｶｯﾄ・ｸｰﾎﾟﾝﾃｽﾄ・漏れ検査)

現場での溶接後に行う検査に、工場内の基準で独自の品質保証上から行うものと、発注者と取り決めた仕様書に従って行う検査があり、その検査内容は外観と非破壊検査が主なるものとなります。

まず外観検査は、ビードの不揃いや継ぎ目処理、オーバラップなどもあげられますが、何と云っても構造強度に強く影響するアンダーカットが、最重要なチェック項目かと思われます。

カット深さの計測方法の例

しかし、これはあくまでも視検によるものですので、工場標準や仕様書などで具体的に例えば 0.5mm 以上のカットは不合格と数値記載があっても、個人差や視角による差が出て、これを補修すべきか否かで見解が分かれる場合が多々あります。

したがって、その計測法や判定用の不合格限界のサンプル作りなどの事前対応が重要となってくることも起こり得ます。

クーポンテスト

継手性能保持のための試験は、普通は事前の施工法承認試験で済んでおり、同一条件での製品が溶接されているので問題はないのですが、実物試験の意味もあり、高圧容器などでは溶接継手の端部でタブの間に試験片を挟み、溶接後にその試験片から引張り、曲げ、衝撃などの機械試験を行う、クーポンテストとも呼ばれている方法が仕様書で要求される場合が起こりえます。

しかし、一般的には溶接線の端部とか交差箇所を重点的に抜き取り、超音波か X 線放射線による非破壊検査での品質確認と記録が行われています。

現場継手の超音波検査

この検査の抜き取り箇所については、事前に仕様書で記載されますが、これ以外で工場内の溶接品質管理上から 記載数の何倍かのチェックが行われていることが多いようです。

継手性能と同時に溶接にとって重要なのに、漏れの有無を確かめる検査があります。製品が小さければ、内部に空気圧をかけ、水槽につけて泡の出具合での確認と云う、自転車チューブの漏れ発見法と同じ手法で行われます。

気密試験で破裂したタンク

容器が大きくなってくるとか配管などでは、内部に水を張り外部からのにじみ箇所で漏れ点を確認する水張り法に変わりますが、さらに大きな容器になりますと、水量が大変なものになりまし、基礎地盤の耐力有無や検査の経済性などから内部に空気圧をかけ、外部より石鹸水より少し粘性の高い中性洗剤をはけ塗りし、蟹のあぶくのような泡のでることで漏れ点を見つける気密検査が一般的に行われています。

この方法は簡便でコスト面でも好ましいのですが、空気圧による容器破裂の危険性がありますので、逃がし弁の取り付けを含んだ安全上の配慮が充分い行われる必要があります。

スモークテストとホーステスト

その他特殊な漏れ検査では、溶接構造で作りあげた部屋の機密性を調べる方法として、外壁からの消火ホースによる放水で、室内の窓枠や床底部に見られるにじみで漏れを知るホース・テストや、内部塗装などが完成しているために石鹸水などの塗布が出来ない場合では、隣室を空気圧でわずかに高圧にし、こちら側での線香による煙のゆらぎで漏れ点を見い出すスモーク・テストなどを適用することがあります。

◎溶接の自動化のこと

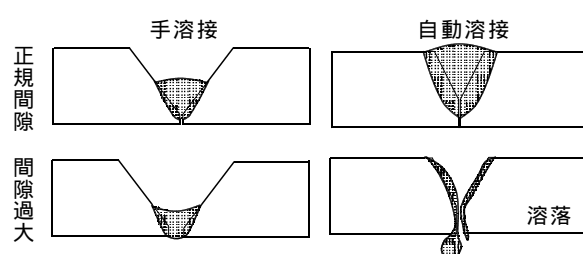
他の作業と同様に溶接での生産性を上げる一つの手法として、自動化の動きが活発で、各種の方法が試みられていますが、ここではこれら自動化を進める場合の配慮すべき事項と、溶接姿勢別に適用されている自動機やロボット溶接の状況をを探ってみます。

○自動化への準備(部材精度・準備時間・稼働率)

溶接関係の業界では慣用的に、被覆棒によるものを手溶接、トーチを使い溶接ワイヤが自動送りされるのを半自動溶接、そしてこの半自動に走行車や回転ジグなどが組み合わさり、溶接線も自動追跡できる段階のを自動溶接と呼んでいます。

さてこの自動溶接の導入については、手溶接に飽きたらず、投資額は多少嵩むが、能率的で品質も安定するとの動機で計画し、自動機器の購入と多少の訓練を必要とする操作者を揃えれば、目的が達せられるのではとの見方をされる向きがありますが、残念ながらこれだけでは良い成果は得られず、溶接の周辺環境を含めた準備が重要です。

自動溶接での開先間隙の影響

具体的に溶接自動化の障壁因子的なものの一つに、まず溶接しようとする部材の寸法精度のレベルが挙げられます。

溶接機側は正規開先だとして一定のエネルギーを投入してきますので、例えば間隙0.5mm以内と設定されているサブマージアーク溶接に対して、現実の開先精度手溶接並の2mm以内しか保てないと、自動溶接中に溶落が多発しその補修で手間取り手溶接より劣る結果しか得られことがしばしば起こります。

事実過去の例でも、このサブマージアーク溶接が米国で成果を挙げていた1935年代に、わが国でもこれを輸入し試用されたのですが、開先不良が原因で手溶接より能率の悪い装置として放置され、溶接教室に飾られていただけとの話が残っています。

自動ガス切断装置(ﾌﾚｰﾑﾌﾟﾚｰﾅ)

しかし、これが戦後の1948年に再輸入された際には、自動溶接機と並行して正確に溶接開先加工のできる自動ガス切断装置が導入されたため、計画通りの成果を挙げ、以後わが国で急速に普及したという経緯があります。

また別の障壁因子としては、溶接開始までの準備に時間のかかることが挙げられます。レールとワイヤのセット、溶接条件の入力などで時間を取られ、実質アークの出ているアークタイムが手溶接の40%台に対して30%台にとどまる場合が多いようです。

この準備時間で、特に問題となるのは機器の移動時間であったため、まず考えられたのは可搬性に富む機器への試行でした。レールを鋳鋼製から軽量型鋼製に、走行車の軽量化などの工夫がされ、数多くの小型自動機が登場しました。

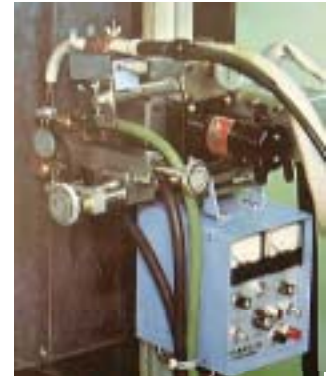
その一方で、組立溶接工場のコンベア化が進むに従い、これまでの溶接物を求めて自動機が転々と移動するのでなく、作業場所や自動機そのものを固定し、溶接物をその場所に投入する自動溶接装置の採用が増えてきました。

これにより設備投資額は高価になりますが、確実にアークタイムの向上が見られ、特に裏面装置を必要とする片面自動溶接の分野では、ほとんどがこの固定装置方式で行われています。

ガーダ形式の大板継ぎ専用自動溶接装置

しかし、この固定型の自動溶接装置も、生産量の繁閑や溶接物の種類の変化への対応力では弱い面が見られますので、可搬性の高い小型機との並行使用をとされているのが現状かと思います。

また、自動機でも立向や横向姿勢などの特殊姿勢専用の自動機についても、専用機としての魅力は発揮できるのですが、溶接物の流れからして年間での稼働率が悪く休止時間が多く、投資額に見合う効果が出ないことも起こり得ますので、一部では走行装置とトーチを分離できる汎用的な使い方のできるものへの指向も出ています。

汎用型の立向自動装置

これが一段と溶接物が多種多様化してきますと、溶接のロボット化への方向に組み込まれて行くようです。

自動溶接での操作員については、ボタンを押すだけの作業のように思われがちですが、ビードの観察での微調整、ワイヤやガス切れ、電極消耗による交換判断などからしますと、現状の自動溶接機では、少なくとも手か半自動溶接の技能保持者が操作員で、それに加えて自動機の操作教育が必要かと思われます。

このようなことから、溶接自動化の準備としては繰り返しになりますが、自動機の要求する部材精度の確保、自動機器の移動頻度と稼働率の確認、それに操作員の教育などの事前準備が自動化成功への第一歩かと考えます。

○突合せ継手への下向姿勢自動溶接(ｻﾌﾞﾏｰｼﾞ・小型ｻﾌﾞﾏｰｼﾞ・ﾏｸﾞ)

サブマージアーク溶接作業

下向き姿勢での自動化の代表的な溶接としては、サブマージアーク溶接が挙げられます。

この溶接法は手溶接の2割増し程度の太いワイヤを使い、4～6倍の電流で、溶接速度も人が追跡できる20～40cm/minの3～4倍の早さで溶接でき、その上アーク光が粒状フラックスで覆われるため輻射熱が少なく、作業環境も良く、それに加え美麗なビードが得られるなどで普及度の高い溶接法です。

具体的には、溶接線に平行にレールをセットし、その上を単極または二電極の溶接ヘッドが走行する移動型のものが一般的で、三電極以上となりますと、重量が嵩み人による溶接ヘッドの移動が難しくなりますので、前に見られたような大型ガーダ上を移動する重重量のワイヤと溶接ヘッドを搭載した専用装置が多いようです。

これらからして、この方法は板厚で15mm以上で数Mを超える長い溶接線でその真価が最も発揮できる自動溶接ではとされています。

しかし、その後の溶接ヘッドの改良などで、可搬性に富む小型サブマージアーク溶接機な

どが登場し、それまでは対象外とされていた 1 ～ 3M 長の溶接線への適用も行われています。

小型サブマージアーク溶接機

このサブマージアーク溶接に対して、厚板突合せ継手が点在する作業場では、装置の可搬性高さと、スラグの除去なしで数層溶接のできる利点を活かしたマグ溶接法によるのが出てきています。

この場合、ビード形状はサブマージアーク溶接より多少は見劣りし、溶接層数も多くなり溶接時間はかかりますが、移動の容易さや、継手内の一定長さの溶接線内を往復運動することで、多層溶接を休むことなく仕上げ層まで作業ができるなど、制御装置をうまく使うと作業員不在での長時間溶接も可能ですので、溶接ロボット化と類似した適用になっています。

○すみ肉継手での水平・下向き姿勢自動溶接(ｸﾞﾗﾋﾞﾃｨ・ﾏｸﾞ・ｻﾌﾞﾏｰｼﾞ)

一般構造物の溶接継手を見ますと、大体 80%強がすみ肉で、その中でも 70%以上が水平姿勢での溶接となりますので、自動化の対象も自然とまず水平すみ肉溶接継手からとなってきます。

三脚式グラビティ溶接

この自動化の一つとして、まずグラビティ溶接が挙げられます。これは、すみ肉溶接専用の被覆棒を母材に接触させて溶接できる鉄粉酸化鉄系のもので、棒長も普通の 450mm 程度より長い 650 ～ 900mm の長尺被覆棒を使います。

具体的には、棒をホルダに挟みアークを出すと、母材に接触しながら溶接線に沿って溶接棒が溶け、終点近くでバネの力などで跳ね上げて、被覆棒一本分の溶接を終えると云う方法です。

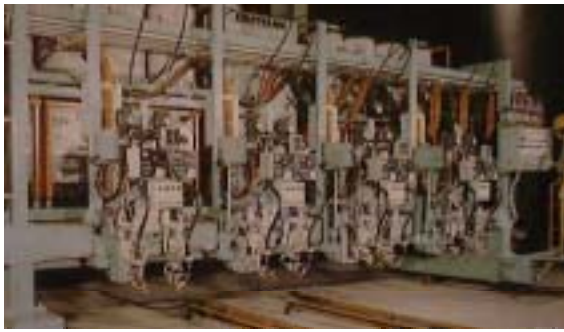
装置としては、モータや制御類は何も使わず単純かつ軽量で、一人の作業員が 3-5 台は操作できますので、溶接速度は手溶接と同じですが、作業量としては倍以上が容易に得られます。したがって、この種姿勢での作業量の多い造船関係などで使われていました。

しかし、最近では被覆アーク溶接よりマグ溶接がより普及していることもあり、マグ溶接での半自動トーチと走行車を組み合わせた簡易すみ肉溶接装置が出てきて、グラビティ溶接との競合が起こっています。

マグ溶接での簡易すみ肉溶接装置

この簡易装置でも一人の作業員で 3 ～ 4 台は操作できますし、グラビティのような多量のフュームがなく、長い溶接線を一気に溶接できますので、溶接棒の継ぎ目の補修作業がないなどの利点があることで、この方法が、次第に優位にあると見られていますが、一部では依然としてグラビティ溶接でとする機運も強く残っています。

この水平すみ肉溶接にはビードが美麗で高速溶接のできるサブマージアーク溶接によるのもあります。しかし、溶接面の僅かな汚れとか開先間隙の微少差に鋭敏で、ピットの発生頻度が高く、これを避けるためには開先面の事前仕上げなどに多くの労力を要しますので、普及度は今一つの感があります。
場所固定しての大型の水平すみ肉溶接装置には、平行するすみ肉溶接線を同時に 8 ～ 14

本溶接してしまうものが、造船部門などで稼働しています。

多電極大型水平すみ肉溶接溶接装置

溶接法はやはりピット発生を嫌ってか、その多くはマグ溶接を採用しています。この場合は、同時多点溶接のため、何れの一本でもアークスタートを失敗しますと装置が走れませんので、溶接機にはスタート性の確実なインバータ制御機が使われています。

しかし、この方法でもより高速溶接となりますと、ピットが出てきます。したがって、高速を狙うと通常のマグ溶接の場合より一段と部材の取付け精度の向上や、溶接面の清浄化を厳しく行う必要が出てきます。

その他この装置では、多数電極のためアークの相互干渉によるアークブローの問題がありますので、アースの配置などで工夫が要求されます。

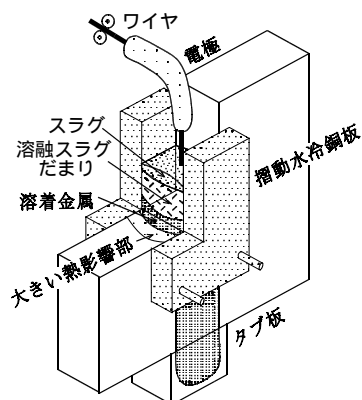
この水平すみ肉溶接継手を脚長面からみますと、一層溶接での脚長の大きさはせいぜい 9mm 程度が限度です。しかし、この継手を回転ジグなどを使い、傾斜させて下向き姿勢に変更しますと、14mm 程度までの脚長が一層で得られます。

この場合の溶接法は水平姿勢の時ほどピットに鋭敏でなくなるためか、美麗なビードの得られるサブマージアーク溶接が多く使われているようです。しかし、この方法でもマグ溶接によるものが出てきて、サブマージアーク溶接によるものと現在は競合状態にあります。

下向きすみ肉溶接装置

○立向姿勢での自動溶接(ｴﾚｽﾗ・ｴﾚｶﾞｽ・ﾏｸﾞ)

突合せ継手を対象とした立向姿勢専用自動溶接法は、わが国ではエレクトロ・スラグ法、エレクトロ・ガス法、それと並行して炭酸ガスアーク溶接による簡易型自動装置の順で導入されています。

エレクトロ・スラグ法は 1960 年頃に重電機部門の極厚板を対象として、施工実績が出はじめた溶接法で、アークの熱ではなく、ワイヤと溶融スラグだまりの中に流れる電流の抵抗発熱を利用する方法です。

エレクトロ・スラグ法

立向継手の前後を溶融スラグがこぼれ落ちないように水冷銅板で囲み、最初の溶融スラグだまりを作るために、比較的大きな専用タブを取り付けての溶接となります。

溶接開始時は粒状フラックス内で、スタート点では一時的にアークが出ますが、フラックスが溶けてくると、アークは消えて、後は溶融スラグだまり内の抵抗熱で、定速度で送られてくるワイヤが溶けると云う手順で溶接ビードが出来上がります。

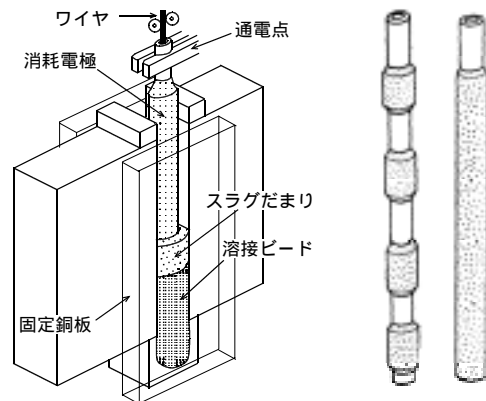
具体的には、板厚 50mm 程度ですと、切りっぱなしの I 開先で 28mm 程度の間隙を作って開先部の前後を水冷銅板で覆い、3mm φ程度のワイヤで 700A 程度の電流を使いますと、1M

程度の溶接長を 30 分強で終えることができます。

その間、操作員はスラグ浴の状態を時々監視し、アークらしきものが見えはじめると、フラックスを添加する作業のみとなります。これが板厚 100mm では、二電極を使い間隙は同じにして施工しますと、やはりほぼ同時間で溶接は完了します。

その後、この方法の亜流として 1M 以内の短い溶接線を対象とした、より簡便な消耗式エレクトロ・スラグ法が出てきて、主として厚板の骨材継手に適用されています。

消耗式エレクトロ・スラグ法

これは水冷銅板は摺動ではなく事前固定で、外部にフラックスを塗布した中空棒を開先内にセットして、これに通電し、ワイヤは中空棒内を通じて送り込む方式です。

消耗式ｴﾚｽﾗﾞ法

したがって、装置は一段と簡素化し、作業途中でのフラックスの追添加もほとんどなく、このため一人の操作員で複数台の担当をすることも容易ですが、溶接長は棒の長さで決まりますので自ずと限界があります。

このいずれのエレクトロ・スラグ法も厚板立向姿勢用として、装置が簡便で、操作の熟練度があまり要求されないなどの利点はありますが、大きな溶融スラグだまりを必要としますので、溶接熱影響部の幅が他の溶接法より大きくなり材料によっては脆化度が高くなることや、溶着金属の衝撃値も低くなるなどの欠点を持っています。

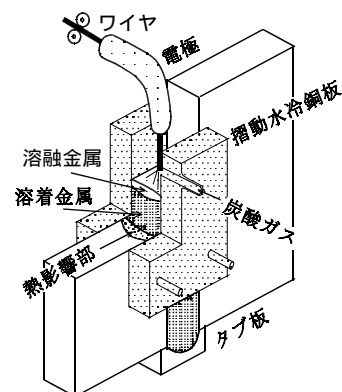
このようなエレクトロ・スラグ法の短所を少なくし、適用を中厚板の 16-30mm 程度の範囲が施工できるとして登場したのが、エレクトロ・ガス溶接です。

間隙は 10mm 程度で溶接側を 20 度ぐらいの末広がりの開先で、摺動水冷銅板の上部から炭酸ガスを吹き付けてのアーク溶接で、溶融池が一定になるようアーク光監視用のセンサが取り付けられています。

ｴﾚｸﾄﾛ･ｶﾞｽ法

ｴﾚﾍﾞｰﾀと組合せ

板厚 20mm 程度の溶接条件では、3mm φワイヤで 650A 程度を使い、時間当たり 5M 程度の溶接長得られます。

実施工面では、この専用溶接機とエレベータ装置を組み合わせ、大型構造物での 10M 以上の長い溶接線への適用が多くみられます。

この立向自動溶接については、これらの専用的溶接法と異なり、半自動のマグ溶接機を使つて、作業員と同じ運棒操作をさせて目的を達する自動溶接装置があります。

レールをマグネットで固定し、それに半自動トーチを組み込んだ走行車にウイービング装置を搭載して、三角運棒などをさせながら上進法で施工する方法です。

装置が分割できますので、取り扱いや運搬が容易なこと、エレクトロ・スラグやエレクトロ・ガス法とは異なり、手溶接と同じ V 開先で板厚 6 〜 20mm 程度の中板を対象としています。

　欠点としては、半自動と同じ速度でしか溶接できないとか、定形運棒をしますので、開先精度が良くないとカットなどの欠陥を作り易いなどがあげられます。この方法の普及度が今一つなのは、このためかと思われます。

ﾏｸﾞﾈｯﾄ付きﾚｰﾙ台車

　次ぎに、すみ肉継手に対しての立向自動溶接についてみますと、水冷銅板の形状に工夫をこらしたエレクトロ・スラグ法によるものもありますが、適用実績ととしては半自動トーチと走行車、それにウイービング装置を組み合わせたマグ熔接による簡易自動型のが多いように見受けます。

　これには定形ウイービングでの上進法での施工と、下進法での多層溶接でとするのがあります。上進法より下進法が作業能率上からは好ましいのですが、間隙が規定以上の箇所ではビードにならないとか、仮止めビード邪魔で溶接できないなどがあり、上進法での採用率が高いようです。

○その他の姿勢での自動溶接(ﾊﾟｲﾌﾟ・横向・上向)

　　下向・立向以外の姿勢での自動溶接になりますと、突合せ継手の対しては大型構造物で見られる横向きと上向きの装置程度で、パイプ周継手用の全姿勢自動溶接のを除くと、適用実績はさほど多くはなさそうです。

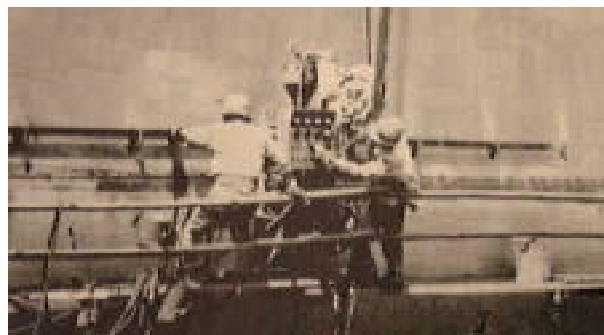
　これは全体的に長い溶接線が少なく、あったとしても作業量が間欠的であるなどが、適用度を少なくしているのではと思われます。

パイプ継手用自動溶接装置

　まず、横向き突合せ継手用の自動装置は、ジグでレールを固定し、これに溶接装置を引っかけ横向 V 開先内を溶接するもので、溶接法としてはサブマージアーク溶接かマグ溶接が採用され、共に多層溶接で仕上げます。また、この多くはセラミックス製の裏当材を取り付けての、片側からの溶接で済ませる片面溶接を採用していることが多いようです。

　サブマージアーク溶接によるものは、層数は少なくて済みますが、溶接条件によっては初層に梨型割れの出やすいことや、最終層の仕上げビードの成形には熟練を要するなどがあります。

ｻﾌﾞﾏｰｼﾞｱｰｸ溶接での横向き自動溶接装置

　一方、マグ溶接ではサブマージアーク溶接より層数が増え、半自動による作業に比べさほど魅力ある能率が得られないなどがあります。そして、何れの方法も高い開先精度が要求されることと、アーク出しまでの準備に時間のかかることが問題かと思われます。

　突合せ継手の上向き自動溶接装置については、マグ溶接によるものをみかけます。これもレールをマグネットなどを使い上向きにジグで固定し、これに半自動トーチを取り付けた走

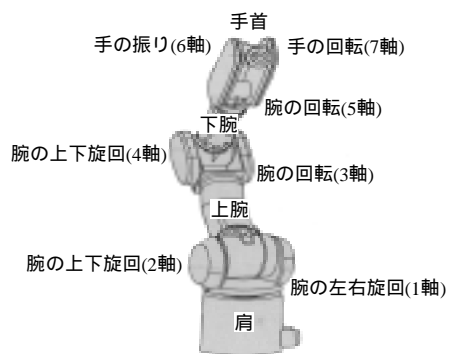
行車を懸垂させて溶接します。

一般的にこの種継手は V 開先で下向姿勢での表溶接後に、上向き裏はつり、上向き裏溶接となるのですが、この裏溶接の自動化となりますと、裏はつり形状の均一性が期待出来ないなどで、V 開先を X に変え、溶接順序を上向の自動溶接を先にすると云うのもあります。

マグ溶接での上向自動装置

したがって、この横向きや上向き装置を使っての自動化のねらいは、高い作業能率ではなく、高度の熟練を要するこの種作業の一般化ではと思われます。

同じような考えで採用されているのに、横からワイヤを自動送りにしたティグ溶接によるのが特殊鋼や特殊配管などで適用されています。

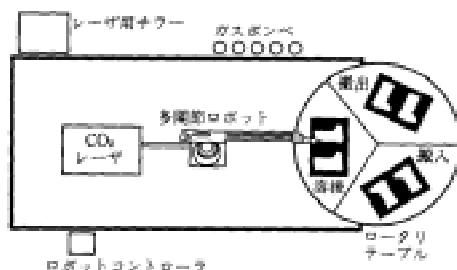
○ロボット溶接(軸構成・教示・ｾﾝｻ・同期化)

ロボットの軸構成

一般的な自動溶接が対象とする溶接線は、直線か正円弧で、それも一回の溶接時間を考えると、比較的長いものが好ましいとなります。しかし、溶接線が短く、直線・曲線が数多くあるものへの自動化となってきますと、溶接作業の無人化を意識した溶接ロボットの適用が考えられます。

作業員が半自動トーチを持ってマグ溶接をするのと同じように、人の腕の関節数に似せて 6 ～ 7 軸程度の変換点を持たせて手首の自由度を高め、あらゆるトーチ角度で溶接しようとするのがアーク溶接ロボットの一般形です。

これが具体的作業になりますと、作業能率を考えて、溶接線を下向き姿勢に変換する 2 軸程度のポジショナーと組み合わせたものが多いのですが、溶接物により少し長い溶接線への適用をとなりますと、足つきロボットとして数M以上移動のできるレール上に溶接ロボットを搭載したのもあります。

長尺溶接物用アーク溶接ロボット

ロボットに採用されている溶接法はスポット溶接ではじまったのですが、現在は 0.2mm 以内の高い溶接位置再現精度が要求されるマグ溶接の分野で増えていますが、時によりティグ溶接やレーザ溶接によるのも出ています。

ﾚｰｻﾞ溶接でのﾛﾎﾞｯﾄ･ｼｽﾃﾑ例

マグ溶接の場合は、連続長時間溶接によるトーチ周辺へのスパッタの付着増が溶接品質や作業能率に影響しますので、これを最小限にと特殊なフラックス入りワイヤを使ったり、アルゴン入りガスでとする施工が多いようです。

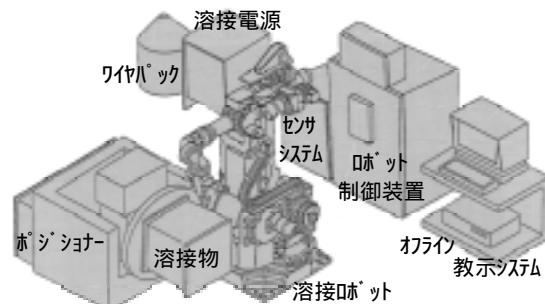
この方法では、アークスタートの失敗が作業能率に大きく影響しますので、より確実にスタートでき

るインバータ溶接機の採用が一般的になっています。

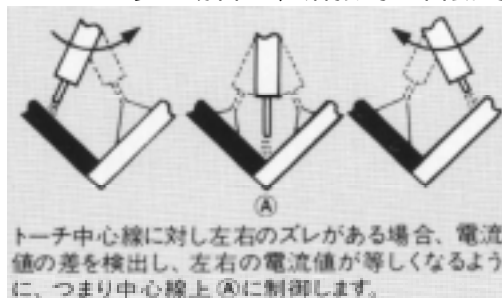
ロボット溶接の作業手順としては、まず溶接物を固定し、どの箇所をどのようなトーチ角度で溶接すべきか、またその時の溶接電流などの条件はなどを、ロボットに教えこむ教示作業があります。

かっては、この時間が長く、実溶接時間の 30 倍程度とも云われていたものですから、同一製品が 30 個以上ないと採算点に達しないとされていました。

オフライン教示のできるロボット・システム

それに作業場所での教示となりますので、生産を阻害しないように教示作業は夜間でなどが行われていたのですが、最近では、オフライン・ティーチングとかティーチング・レスなどの宣伝文句に見られるように各種ソフトが豊富に開発されていますので、教示時間は急速に短縮され、教示は容易にとする傾向にあります。

したがって、教示時間の短縮でロボット溶接はかってのような多種生産向きから、小種中量生産向きに、さらに小種少量生産向きへと適用範囲は拡がる傾向にあります。

教示に関連して、ロボット溶接ではジグに固定したモデル溶接物の溶接線上にトーチを持ってきて、それをなぞらえることで溶接箇所を教えるため、モデルと実溶接物とで部材寸法や仮付け位置で差がある時や、溶接物内に多くの溶接線があって、前半の溶接熱で溶接物が膨張し、後半の溶接線が動いてしまうなどが起こりやすいなどがあり、1M 角程度以上の溶接物では実溶接線の追跡が難しくなり、不正な溶接ビードが出来てしまうことが起こります。

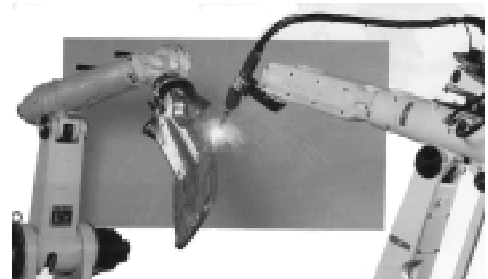
このような場合は、溶接時に自動的に溶接線を倣い修正できるセンサがトーチ部に取り付けられます。それの最も一般的なのがアークセンサと呼ばれているもので、溶接中にトーチ先端を僅かに振らせ、両端で電流や電圧差があると、それを均一するために先端位置をアークを出しながら修正すると云う方法です。

アークセンサの機能

その他のセンサには開先部を映し出し画像処理するものや、レーザ利用のものなども出ています。

溶接ロボットの作業能率面では、溶接条件が半自動溶接とほぼ同一ですから、能率をあげるとなるとアークの出ているアークタイムの向上しかありません。

ロボット溶接の作業分析では、溶接物のジグへの着脱時間と、下向き姿勢への位置変更時のロボット待機時間の大きいことが、アークタイム阻害の大きな要因としています。

二台のロボットでの同期化作業

これに対して教示手順や設備改善面での工夫が多く見られます。特に待機時間については、ポジショナー回転時でもアークを出し続けられるような、溶接作業用と溶接物用の二台のロボットのよる同期化の動きも活発化しています。

技術管理編

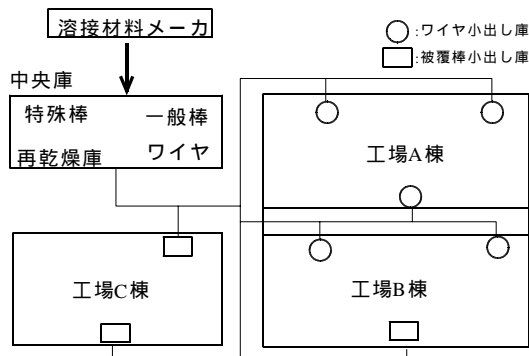
溶接は国際的な標準機構(ISO)によると、製品完成後の検査だけではその品質の良否判定が難しい「特殊工程」として取り扱われ、工事前に溶接施工要領の承認や、溶接に携わる人たちの認証など溶接後の結果だけでなく、作業準備や作業中の動向にも注力すべきとしています。

したがって、溶接の場合は作業の過程も重要ですので、技術管理面においても一段とこの点についての留意が必要となります。ここでは、設備・作業・品質に分けて、工場内でどのような管理手法が採られているのかについてみます。

◎溶接資材・設備の管理のこと

溶接資材としては溶接棒、ワイヤそれにガスがあり、これらを購入・保管・工場内への配送についての管理が、設備では溶接機の購入と配置それに保守、機器付属品の支給についての管理が、それに加え作業員周辺で必要な保護具、消耗品などの副資材の管理などが、どのようになされているのかが重要となります。

○溶接材料の管理(中央庫・小出し庫・溶材種類)

工場内での溶接材料の保管は、作業現場近くの小出し庫と、それらをまとめる中央庫に普通は分けられているようです。

溶接材料の配送経路の例

小出し庫では、ワイヤは風雨を避けられる程度の小屋、被覆棒に対しては、低水素系棒用の 350 ℃まで温度の上げられる乾燥庫を、一般棒では 100 ℃程度までの乾燥庫を配置し、保管される量は、3 日から 2 週間分程度となっています。

消費された分の補充は中央庫からのホークリフトなど工場内の小型運搬車による定期的な循環チェックで行われます。

中央庫は溶材メーカよりの配送回数にもよりますが、日常的に使われる溶材は一ヶ月分程度が保管されているようです。この中央庫では、それ以外に鋳物棒のような時たま使う棒とか、前の工事で使い残した棒などが整理保管されています。

溶接材料の屋外小出し庫

溶接材料中央庫の内部

工場内で使用される溶材の種類は、使用鋼種に対応します。最近では一般軟鋼にに加え、50 や 60 キロなどの強度レベルの異なる高張力鋼の採用も増えていますので、溶材の種類も少し増加傾向にあります。

それに軟鋼用のをとってみても、能率上から好ましいとする水平すみ肉専用棒なども使われますので、何れにも使える汎用棒との比率をどのようにすべきかが、作業能率や誤用防止などを含めた管理上で

の問題としての判断が要求されます。

一般に、溶材の種類が少ないほど現場での誤用が起こらず、管理は容易になりますので、ワイヤでは軟鋼と 50 キロ級高張力鋼用は共通でとか、被覆棒では、低水素系と水平すみ肉棒、それに立向下進棒程度とし、あとは汎用棒でと種類を絞って対応している工場が多いようです。

○ガスの管理(移動供給・大型供給・消費量)

工場で使われる溶接用ガスとしては、アルゴンなどの不活性ガスと炭酸ガスの二種類がほとんどで、それ以外では、ビードが美麗でスパッターが出にくいなどで、アルゴンと炭酸ガスを混合したものとか、ろう付け用に酸素と溶解アセチレンが使われる程度かと思います。

移動式炭酸ガス供給装置

これらのガスは溶接量がさほどでない場合は、ボンベ一本を溶接機の横の置いてとする形式になりますが、一作業場で溶接機が多数使われる際は、ボンベ 10 本以上を束ねた集合型か、小型の液化炭酸ガス容器を備えた移動装置を持ち、そこから配管か大型ホースで作業場周辺の接続口への供給形式となります。

さらにガス消費の多い工場では、固定の大型液化炭酸ガス装置を持ち、工場内の各棟へは配管でとする方法が採られています。

大型炭酸ガス供給装置

これらの溶接用ガスの管理面で重視すべきものとしては、ガスの消費量が適切かの問題があります。

例えば、マグ溶接ではワイヤの消費重量に対して炭酸ガスの量は理論的には 0.8 倍とされていますが、溶接開始や終わりでの吹きつけ、風の影響などで実施工では 1.6 倍程度までは適切ではとされています。

移動式ホース接続口

したがってこれ以上の消費実績が出てきますと、①配管途中での漏れ、②ホース接続口での漏れ、③溶接機内での漏れ、それに④作業員が必要以上のガスを流して溶接しているのではの見方が出てきます。

このため、溶接作業のない夜間検査での減圧程度で①と②の確認とか、③はまれですが定期検査で知ることができます。

しかし、これまでの事例ではガス量がワイヤの二倍以上の比率になっている場合の多くは④が主因のようですので、しつけの問題として溶接作業者の個人管理の徹底が重要かと思われます。

○溶接機の管理(機種・保有数・保守・消耗品)

工場で保有する溶接機については、使用電流の大きさで500A型、350A型などと容量の容量別の種類があり、一般的には大は小を兼ねるの考えで容量の大きい機種に揃えられているの

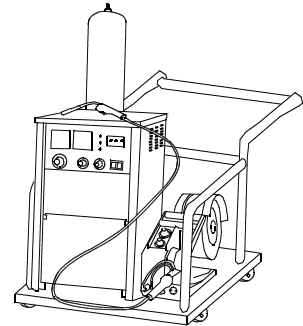
を多く見かけます。

しかし、溶接の作業性や電気料金からして必ずしも得策と云えないこともありますので、新規に溶接機を購入する場合は、今後の工事内容の予測と保有機種の状況からの選択が重要となります。

工場での溶接機の保有総台数については、溶接を専業とする作業員と、溶接の使用率は一割程度ですが仮付け作業員が使いますので、基本的には溶接作業員の倍は必要とされています。

しかし、現実は工事の流し方や工程の繁閑度による、作業場での作業員の移動程度などで、工場により溶接作業員数の1.4から3倍程度の配置台数に差があるようです。

一人一台移動式

移動台車の上に溶接機とガスボンベを含んだセットを載せ、製品の直ぐそばで作業をとする一人一台方式と、作業場での最大作業員数を想定して、それに見合う溶接機を、工場の中二階などに固定配置し、そこから二次線を作業場近くに引き込むか、天井からの藤棚的なものでとする方式あります。

天井から溶材共に取り出す固定式

また、工事内容によっては、この中間的な数台の溶接機をセットにした移動方式のを採用している工場もあります。

これらの何れを採用するかは、基本的には工事展開の仕方に影響を受ける訳ですが、その根底には移動に伴う一次線の結線などによる保守要員増とするか、溶接機の固定配置による設備の投資増を認めるかの選択となるようです。

数台セットの移動式

溶接機個々の保守については、制御系が複雑になったこともあり、工場内での修理できる箇所は少なくなり、大部分はメーカ依頼となる傾向があります。

しかし、取扱説明書にある保守作業は確実に行い、溶接機台帳を整備し、個々の溶接機についてのカルテ的なものを作成して、保有数の適否と廃却や新規購入時の判断資料にすることが重要です。

溶接機に関連する消耗品的なトーチ先端のチップなどについては、作業員の判断まかせの自由交換制と、補修要員のチェックによる交換をとする方式があり、要員の合理化などで前者の採用が多いようですが、各工場間での実態調査ではこれら消耗品の年間使用量差が三倍にも達したとする報告もありますので、この種管理施策ではいずれを採るにしても、定期的な実態掌握による他工場との対比が必要かと思われます。

○溶接副資材の管理(ｹｰﾌﾞﾙ・自動機付属品・消耗保護具)

溶接関連の副資材に、溶接機用ケーブル、自動機付属の走行車や回収機、それに作業用のチッピング・ハンマー、ワイヤ・ブラシに加え各種保護具など消耗品に近いものが多くあります。

公称断面積 (mm²)	許容溶接電流(A)		
	使　用　率		
	100%	80%	50%
80	245	310	370
60	200	250	300
50	175	220	260
38	150	180	220

ケーブルの太さと溶接電流使用率

ケーブルでは、マグ溶接の場合は溶接機の付属品として指定されおり、工場側独自のものと取り替えなどの自由度はありませんが、被覆アーク溶接では使用電流や頻度により、使うケーブル径などが選択できますので、作業場所の移動頻度などで、細径の軽量ケーブルにするか、少し重く移動に不便だがケーブルが熱を持ちにくい太径のを採用するかは、工場側の判断となります。

現状をみますと、工場全体で一種類の径でとするのは少なく、移動が多く溶接量の少ない仮付け用の細いものと、本溶接用の太径の二種類での対応が多いようです。

一般にケーブルは老化や引っかき傷で素線が露出することがありますので、その箇所はテープ巻きか焼き付けで補修が、定期的な安全点検時に確認され行われます。したがって、何箇所以上補修のあるものは廃却するとの基準を設けたり、ケーブルにリングをはめ、購入時の履歴を明確にしておくことが管理上効果的となります。

ケーブル補修箇所

自動機の付属品については取扱説明書に従つた定期点検をとなりますが、経験的には誤差5%以内とされている走行メータなどの指示が、機器移動時のショックなどで、それ以上になっていることもありますので、この面での精度チェックも附加することが必要です。

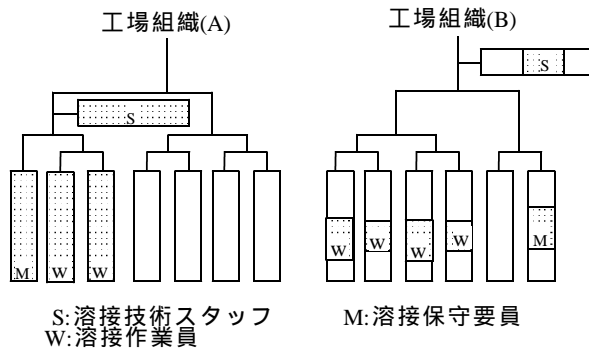
また、フッラックスの回収機では、長時間循環使用しますと、底部に粒ではなく粉末状のフラックスが多く溜まり、これを知らずに使い続けますと、ブロホール多発の原因にもなりますので、その面での定期点検も重要です。

安全保護具類

溶接の安全作業に関連する軍手、皮手袋、色ガラス、素ガラス、保護カバー、マスクなどの消耗品は、個々はさほどの価格ではないのですが、年間にしますと数量的には相当なものが出ますので、管理面からどの程度で交換するのかの規定と、取り扱いにより個人差が大きく出ますので、モラル面を含めた定期的な作業員指導が必要で、これを怠ると費用面で他工場と相当な差が出て驚かされることになります。

◎溶接の作業管理のこと

溶接での作業管理の基本には、作業実態掌握のための管理の粗密程度と、そのため使われるの間接費の限界、出てきたデータから問題発生の前兆をどのようなに読みとるか、そして抽出した問題点への敏捷な対応などが挙げられます。

○溶接での組織(配置・構成)

工場組織内での溶接関係者の配置例

まず種々の職種の作業員が混在する工場内での、溶接作業員の位置付け的な組織としては、溶接グループを大きな一つの特殊な技能集団とみなし、一箇所に集めてそこから各作業工程の要請に応じて作業員を派遣する方式(A)と、各工程に平均的必要員数を散在して固定させ、作業工程内での自由采配でとする方式(B)があります。

前者は溶接の技能保持と向上、新規の施工法導入などを考えると効率的ですし、作業員の必要数の変動が多い場合は、その繁閑調整は多人数を抱えているので容易にできるとする組織です。

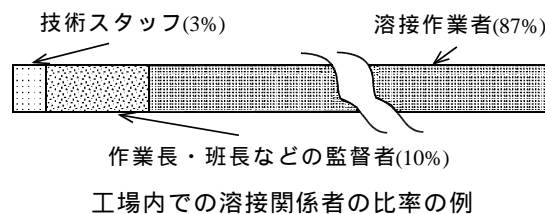
しかし、この調整は現実面では繁の時は工場全体で繁となり、閑の時も同様で全てで閑となる場合が多く、作業工程面からしますと、少し難点のある組織とする見方があります。

一方、後者ですと手持ちの溶接作業員は固定されていますので、工程の能力限界が容易に掌握でき、工事の流れについての責任体制がはっきりしますが、反面溶接作業者間の移動交流が少なく、技能面で切磋琢磨する場が希薄となりますので、技能向上をと考えますと少し手薄感があります。

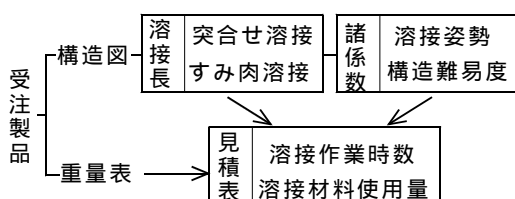
このように、何れも一長一短がありますが、最近では後者(B)の採用が多く、この場合では技術技能管理や保守関係は工場全体のなかで位置付けられているスタッフ部門で行い、この組織での欠点と思われる箇所を補間する方式が採られているようです。

なお、工場組織での溶接技術者、監督者、作業者の比率については、製品内容により当然異なりますが、平均的なものでは図のような例があります。

技術スタッフ(3%)
溶接作業者(87%)
作業長・班長などの監督者(10%)

工場内での溶接関係者の比率の例

○溶接作業量の見積(溶接長・ｱｰｸﾀｲﾑ・製品重量・溶材歩留まり)

溶接量の見積手順

溶接の作業量は図面から溶接長を拾い出し、それをもとに算定することを基準としていますので、見積用の基礎資料としては、溶接長当たりの作業時間や溶材の使用量についての基準表が必要ですが、これは各工場独自に作成されています。

内容としては、まず溶接長の種類では突合せとすみ肉継手に分け、それに加え下向きや立

向などの溶接作業姿勢で能率や溶材の使用量が異なりますのでこれについての区分が板厚毎の表として作成されます。

被覆アーク溶接での溶接時数係数の例

突合せ溶接での作業姿勢係数

板厚(mm)	下向	立向	横向	上向
6	1.0	1.1	1.2	1.3
8	1.1	1.2	1.3	1.4
10	1.2	1.4	1.5	1.8
12	1.2	1.4	1.6	1.9

注:板厚6mmを基準(1.0)とする。

すみ肉溶接での作業姿勢係数

脚長(mm)	下向	立向	横向	上向
5.0	1.0	0.7	2.7	2.0
5.5	1.0	1.0	3.0	2.3
6.5	1.3	1.3	3.7	3.0
7.5	1.7	1.7	4.3	3.6

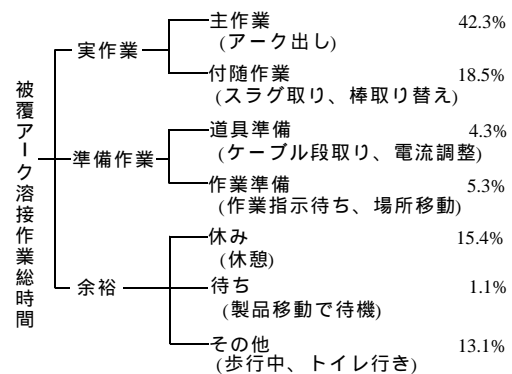
注:脚長5mmを基準(1.0)とする。

この場合の作業姿勢基準の多くは、下向きに対して立向の作業時間は 1.25 倍、溶材使用量は 1.1 倍などと、係数処理で済まされているのが多いようです。

溶接作業時間の見積は、間断なく 100%アークを出している時の数値が基礎ですから、普通はこれに作業場所の係数をかけて処理されます。具体的には高所作業ではアークタイム 30%、組立場では 45%などと工場の実態をサンプル調査し、その結果の数値が使われます。

溶接作業時間分析結果の例

さらに厳密にとなりますと、同じ 10M の溶接長でも連続してある場合と、１Ｍものが散在しての 10M では異なるとして、複雑係数とか難易係数などを乗じて見積ることもあります。

このような溶接長ベースの見積もりに対して、非常に概算的ですが、製品重量からの方法もあります。

既存の実績ある製品と同じか類似品の場合に使われる方法で、過去の実績から、例えばこの製品では重量トン当たり 20kg の被覆棒を使っているので、溶材使用量合計は何トン、そしてこの工場での作業員の一日当たりの平均溶材使用量は 12kg であるから、合計溶接作業時数は何時間になるとして見積られます。

実に単純に算定できるため魅力はありますが、過去の実績がないと使えないことや、その実績数が多くないと、見積精度がさほどでない欠点があります。

過去の実績はなく、溶接長で見積るにしても図面の全ては未だ入手していないような段階で総作業時間などを概算的に見積る場合は、溶接重量と溶接長の中間的な手法を使うことがあります。

具体的には製品内の部分構造を抽出して、その部分についての溶接長を算定し、そこから得た溶接時間、溶材使用量を使い、その比率で他の構造部位の重量当たりのものを算定する方法で、意外と多く使われている手法ではと思われます。

突合せ溶接での間隙と溶材使用量

板厚(mm)	溶材使用量(kg/M)	間隙による溶材増加率 1mm	2mm	3mm	4mm
6	0.83	1.14	1.28	1.42	1.56
8	0.99	1.14	1.27	1.41	1.55
10	1.18	1.13	1.26	1.39	1.52
12	1.41	1.12	1.24	1.37	1.49
16	1.98	1.11	1.21	1.32	1.42
20	2.69	1.09	1.18	1.28	1.37
24	3.54	1.08	1.16	1.24	1.32

注:余盛高さ3mm、溶材歩留まり83%とする。

溶接材料の見積については、これも単位溶接長あたりの使用量はとなりますので、この基礎表が作られます。作業としては、まず開先断面積、余盛高さ、裏はつり量などから溶着金属量を算定します。

なお、この断面積算定では正規形状で行われま

すみ肉溶接での間隙と溶材使用量

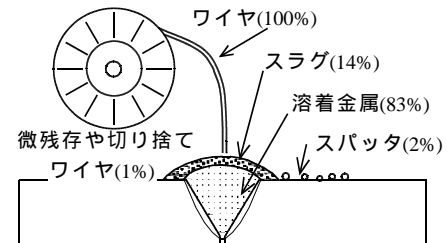
脚長 (mm)	溶材使用量 (kg/M)	脚長増での溶材増加率			
		1mm	2mm	3mm	4mm
4	0.145	1.41	1.89	2.43	3.03
5	0.205	1.34	1.72	2.16	2.62
6	0.275	1.29	1.61	1.96	2.35
7	0.353	1.25	1.52	1.83	2.16
8	0.442	1.22	1.46	1.73	2.01
9	0.539	1.20	1.41	1.65	1.90
10	0.646	1.18	1.37	1.58	1.81

注:余盛高さ2mm、溶材歩留まり83%とする。

すが、実状は突合せ継手では開先間隙が多少あったり、すみ肉継手では規定より大きな脚長で溶接しがちになり、計算と実績とが食い違うことが起こり得ますので、実状との照合で多少の修正をとなる場合があります。

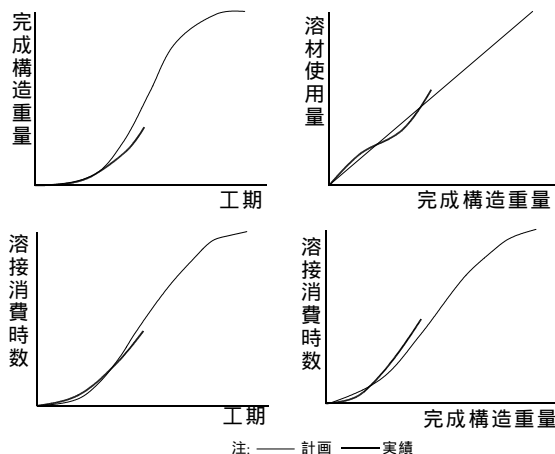
次いで、これに溶接材料の歩留まり係数を加算して、工場としての溶接材料使用量基準ができあがります。

フラックス入りワイヤでの溶着効率の例

この歩留まりについても、被覆棒で 60%台、マグ溶接で 80-90%台と適用溶接法により異なりますので、これらの係数も設定しておく必要があります。

○溶接作業管理曲線(工期・能率)

見積られた溶接時数や溶材使用量、それに工期などの数値を使って描かれる種々の管理曲線は、現状からして工期面では納期が守れるのか、遅れているとすれば何時からどのように増員して対応すべきか、能率面では計画通りか、予想より悪くなっているとすればその原因と対策はなど、作業展開上での的確な判断を得る資料として使われます。

溶接作業管理曲線の例

一般的には工期を横軸に、縦軸には製品重量、単位構造、作業時数など納期を重視したものと、作業時数をベースとした製品重量、溶材使用量、単位構造の能率面のチェック用があります。

これらの管理曲線は担当者レベルになるほど、管理単位の細かいものを必要としますが、管理費用との関連から自ずと限界があり、せいぜい数種で、それも概括的なものと詳細のを併用が効果的かと思われます。

特に工期の長い製品では、例えば三割程度の工事進捗時点で、基礎部の溶接が完成していなければ納期確保は無理と判断されるような節点的構造部位が必ずありますので、作業途中ではこれの完成程度を注視していることが重要かと考えます。

一般的に管理曲線は、このような工事展開中のチェック用と工事完了後にそれ以前の工事実績と対比して、総合的に今回の工事はどのような展開で推移したのか、その傾向は正しかったのか、そしてこれからの目標として、例えば次の製品の溶接作業展開や能率はかくあるべきなどの指標を引き出すためにも使われます。

○溶接関連資格(技術者・指導者・技能者・安全作業)

溶接製品は、出来上がった後での非破壊検査などではブロホールなどの溶接欠陥の発見はできますが、例えば 60 キロ級の高張力鋼の溶接に軟鋼用材料を使ってしまったなどの検査は難しく、できるとしても費用面で大変になります。　したがって、工事前の要領書の整備

や、溶接に携わる人たちの技術・技能のレベルをそろえ、どのような手順で溶接されたかの過程が重要視され、溶接製品の全てではありませんが、受注時に提示する溶接要領書などで、その製品に携わる溶接関係者の氏名と取得資格の明記が要求される度合いが増える傾向にあります。

実務面で要求される溶接関連の公的またはそれに近い資格としては、各産業で差異がありますが、その中で共通性の高いものを取り上げますと、①溶接技術者についてのもの、②現場溶接作業者グループのリーダについてのもの、③溶接作業技能についてのもの、それに④溶接作業時の安全についてのものがあります。

溶接関係資格の規格の例

溶接技術者	溶接指導者	溶接技能者	
WES 8103 構造物溶接	WES 8107 ｱｰｸ溶接	JIS Z3801 手溶接	JIS Z3841 半自動溶接
LIS A7601 ｱﾙﾐ合金構造	——	JIS Z3811 ｱﾙﾐ溶接	WES 8104 ﾁﾀﾝ溶接
WES 8109 ﾏｲｸﾛｿﾙﾀﾞﾘﾝｸﾞ	——	WES 8102 石油関係	JIS Z3851 ﾏｲｸﾛｿﾙﾀﾞﾘﾝｸﾞ

①の溶接技術者の資格では、海外製品の製作にも配慮して、例えば日本での資格はドイツでも通用するなどの相互互認される分野もあります。

溶接技術者認証資格(WES溶接技術者)でみますと、受験資格としては、学歴や実務経験年数により特級・一級・二級の等級分類がされています。試験は学科と口述がありますが、級によっては研修会の参加で口述試験は免除となる場合があります。

WES2級溶接技術者資格証明書

合格しますと、その有効期限は三カ年で、期限切れ近くになると期間内でての実務実績についての書類審査や、時により最新溶接技術についての講習会の受講で、資格更新が行われる制度となっています。

②の現場作業者グループのリーダについての資格は、例えば溶接作業指導者資格(WES溶接指導者)があり、受験資格は年令と溶接技能保有年数での制約があり、実務についていた年数が重視されます。資格判定は書類審査と講習会の受講と修了試験の結果で決まります。

③の溶接作業技能資格は、一般的にJISの溶接資格などとも呼ばれ、溶接技能レベルを示すものとして普及していますが、資格分類は多少複雑になっています。

具体的には素材は板とパイプに分かれ、材質は軟鋼やステンレス鋼などがあり、溶接法もガス・被覆アーク(手溶接)・マグ(半自動溶接)・ティグ・ミグなど、それに下向き立向などの作業姿勢が加わるますので、まず下向き姿勢での基本級に加え、工場での作業頻度の高い受験種目の選択が重要となります。

JIS手溶接の技能証明証

試験はごく基礎的な学科と実技の試験が行われます。実技は溶接したビードの外観試験と、300mmほどの溶接した継手から、主として曲げ試験片を取り出し、割れずに曲がれば合格となります。

この資格も有効期限は三カ年で、継続時は更新試験の受験となりますが、この際は実技試験のみで行われます。一般的には経験年数が増えていますので、溶接がより難しい厚板や横向き姿勢などの種目への鞍替えへとなることが多いようです。

その他に④の溶接作業時の安全関連の資格があります。こちらは認定する機関が労働省となっており実施は各地区の安全衛生技術センターが担当しています。

具体的な資格として、ボイラ溶接士とガス溶接作業主任者のように、事前の溶接経験と実務知識を必要とするものと、溶接入門に近いガス溶接技能講習とアーク溶接特別教育があります。

特に後者は技能レベルを示すものではなく、溶接作業で起こりやすい爆発・火災・感電事故の防止を主眼としたもので､学科と実技の講習会の参加だけで修了証の授与が行われます。したがって、溶接作業に携わる溶接を本業としていない、仮付け作業員なども含め溶接作業時はこの修了証の携帯を義務付けられています。

なお、これら資格取得についての規定の詳細や問い合わせ先などについては、後ろの附表に示しています。

◎溶接の安全管理のこと

溶接の場合は高温のアークと金属ヒューム下での作業となりますので、作業員そのものと、その周辺の作業員や建家への影響、特に火災・爆発などの災害への配慮が重要となります。

○溶接作業員の安全（保護具・ﾋｭｰﾑ・感電・火災爆発）

溶接中での作業者に直接関係する安全面での対応としては、アーク光を直視しての眼関係、アーク周辺から出るヒュームによるじん肺関係、それに一般家庭のものより高電流を使用することによる溶接機からみの感電事故関係が挙げられます。

溶接関係保護具のJIS規格

保護具	規格	保護具	規格
安全帽	JIS T 8131	軍手	—
ヘルメット	JIS T 8142	皮手袋	JIS T 8113
ハンドシールド	JIS T 8142	足カバー	—
しゃ光プレート	JIS T 8141	安全靴	JIS T 8101
保護めがね	JIS T 8141	耳栓	—
前かけ	—	防じんマスク	JIS T 8151
腕カバー	—		

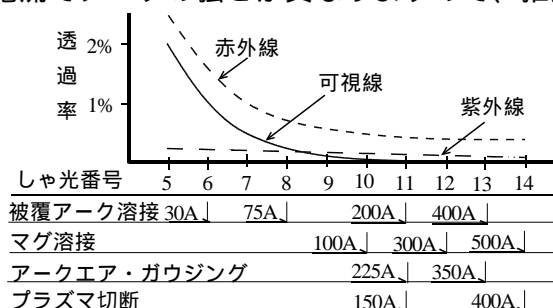
したがって、溶接作業時に身につける各種保護具についても JIS 規格で定められているものが多くあり、これらからの選択が必要となります。

総合的には溶接作業時は前にも述べましたように、労働省関係の規定で作業者は受講修了証の携帯が義務付けられていますので、これらに対する安全事項については熟知した上での個々の作業となっているはずですが、残念ながら現実面には時折事故が起こっています。

したがって、より詳細な工場に合った形での安全規定を作り、これをもとにした工場内の安全教育の繰り返しが重要となります。

まず眼の問題では、使用します溶接法や溶接電流でアークの強さが異なりますので、推奨されている濃さの色ガラスの着装となります。

しかし、これには多少個人差がありますので、より良いものをの考えで使う番号に多少の幅を持たせ推奨番号周辺のも備えていることが必要です。

また、色ガラスの外側に取り付ける素ガラスでは、それの平滑度が悪いと乱視になる原因となることもありますので、この点でのチェックも加えておくべきかと思います。

しゃ光番号と光線透過率およびその選択

万一、アークを直視したとか、被覆アーク溶接などではスラグ除去時に、眼へその飛沫が入ったなどの場合は、普通は軽度のものとして済まされることが多いのですが、スラグの混入では眼を傷つけている場合もあり専門医の診察をとなることもありますので、それまでの応急処置として、常備されている救急箱には目薬を加えておくことが肝要です。

ヒューム関係では、マスクの着装は法規で義務付け得られていますので、衛生面を含めフィルターの種類や交換頻度について工場基準を作っておかれることを薦めます。

溶接法でのヒュームの発生量

溶接法	棒径(mmφ)	電流(A)	時間当たり(mg/分)	溶材当たり (mg/g)	溶着金属当たり(mg/g)
被覆	4	170	292	7.0	11.2
ﾏｸﾞ	1.6	400	598	5.2	5.4
ｾﾙﾌｼｰﾙﾄﾞ	3.2	400	2000-3500	16-28	23-41
ｻﾌﾞﾏｰｼﾞ	6.4	1200	40	—	0.1

また、作業場周辺の換気装置については、室内や容器内の密室的な作業場では、吸気

にすべきか排気か両方か、その位置はなどの差で、換気効果が相当異なってきますので、その最適配置については、事例による換気要領図を備え、それにしたがって移動式換気装置の配置をすると、より効果的となります。

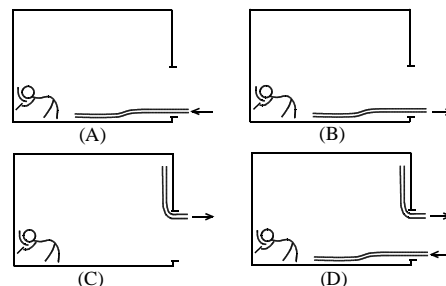
(A)
(B)
(C)
(D)

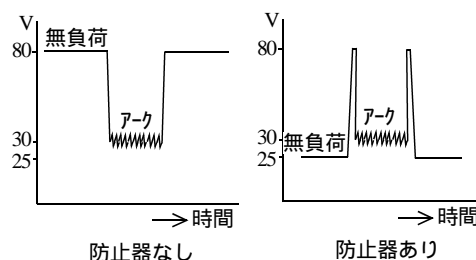
容器内溶接での換気法の例

ヒュームについてのその他では、少し特殊となるかも知れませんが、メッキ管などを溶接すると、換気に相当配慮していても、作業中に口内が甘くなり、頭痛へと変わる場合が起こり得ますので、作業前に専用の予防薬の服用が必要となることがあります。

外付け感電防止器

感電については、感電防止器の取り付けが義務付けられて以後、溶接二次側が原因での感電事故死は皆無になってきました。

しかし、折角防止器が付いていても溶接機の調子が悪いとして、専門外の者が一次側に触れてとする事故は依然としてありますので、点検規定での溶接作業員ができる補修範囲を明確にしておくことが肝要です。

なお、この感電防止器の仕組みは、万一感電しても体の自由が利き、そこから逃げられるような 25V 程度の低い電圧を保ち、アーク・オンの時点ではアーク安定のために必要な、しかし感電すると危険の可能性のある 80V に瞬時に上げ、溶接をし易くする機構となっています。

アーク・オフの時も同様で瞬時に 80V の無負荷となりますが、すぐ 25V に落ち、安全電圧と変わります。

感電防止器の仕組み

この感電では、防止器付きでも瞬時の軽いショックで、体のバランスを失なったために、高所からの落下と云うような間接的事故が案外起こり易い状況となります。

特に高さも比較的低い 2M 程度の脚立からの落下で重大事故につながったとする事例が多くありますので、注意が必要です。

○溶接作業周辺での安全(密室作業・アース回路・ヒューム滞留)

溶接時に周辺をも巻き込んでしまう事故としては、溶接熱による火災と爆発があります。

溶接作業中での爆発・火災の事例

密閉したまま容器の外側から溶接し、その熱で容器を膨らましてしまったとか爆発させたとか、室壁に部品を溶接で取り付けた結果、隣室の壁を焦がしたとか火災にまで拡げてしまったとかがあります。

また、配管の修繕工事でパイプ内の残留ガスの確認を怠ったため、溶接と同時に配

管系の全てを爆発させてしまったとするような事故は過去の事例でも少なくありません。

それに溶接ではスパッターの飛散による火災も意外と多いようです。修繕工事では油汚れや小さな油溜まりのある機械室でのスパッターによる発火、新造工事での生乾きの塗装面やペンキ缶へのスパッターの飛び込み、高所建築作業での防風シートへのスパッター付着に起因する火災などです。

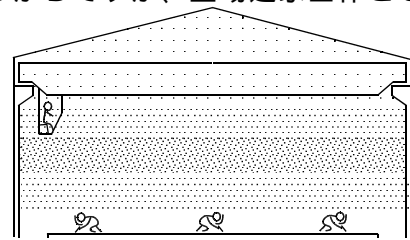
このようなアーク点周辺に起因するもの以外に、アース回路による火災の事例もあります。

臨時的な作業でアース線の持ち合わせのない時などで、丸棒などの残材の継ぎ合わせでアース回路を作りますと、その接続部が溶接電流で加熱し、周辺部にあった可燃物に点火し、予想外の箇所から火災発生へと結びつくケースです。

ヒュームについては、溶接作業者への被害のみを注視しがちですが、工場建家全体としての換気装置の配置が不適切ですと、ヒュームは地上数米の高さで雲のように滞留し、低い天井クレーンの運転手の影響を与えたとする事例もありますので、定期的な計測確認が必要となります。

工場でのヒュームの中間滞留

アーク光についても頻度は少ないのですが、周辺作業者のアーク光での被害例はままあります。

遮光シートと換気装置の使用例

特別なケースでは、アルミの溶接で、素材が鏡の役割をしてアーク光の反射で、一階の溶接作業で二階の作業員が影響を受けたとする報告もありますので、このような場合には移動式の遮光シートの配置が効果的となります。

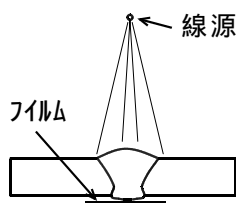
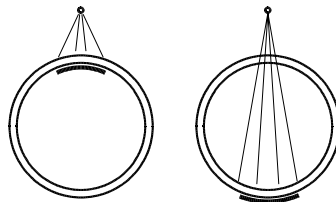
◎溶接検査と技能管理のこと

完成した溶接部の品質確認には、外観や内部状況を知るための種々の検査法が適用されます。ここではそれらの実状と、普通の検査では見い出せない欠陥への対応を考えてみます。

それに、より健全な溶接部を得るためための基本である溶接作業者の技能向上と、そのレベルを保証する資格や個人管理の在り方についてもふれてみます。

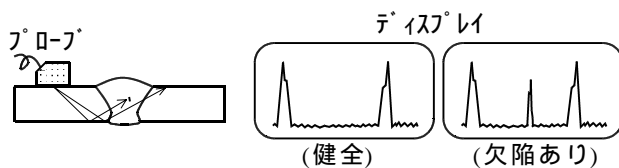
○溶接継手に適用する検査法の特徴(放射線・超音波・探傷)

溶接継手の検査法として、通常行われるものにまず外観検査があります。この方法では余盛高さ、アンダーカット、溶接継ぎ目の形状、ビード幅の不整程度が検査対象となりますが、溶接割れなどの起点となりやすいアンダーカットが特に注目されます。

この検査は道具を使わず溶接ビードを見るだけでの判定となりますので、検査する人の経験に左右され、それに主観が加わりますので、時によりこれはアンダーカットである、いやそうでないなどの見解の相違が出ますので、事前に合否判定の限界を示すサンプルを作り、これとの対比で判定されることもあります。

放射線検査

放射線検査は溶接継手の表面から X 線とかイリジウム、コバルトなどの放射線を照射して、裏面に取り付けたフィルムを感光させ、そのフィルムにより継手内部の欠陥の有無を知る方法です。

割れ、ブロホール、スラグの巻き込みなどの状況が、専門家でなくともフイルム上の画像で容易に判断できますし、記録の保存性も優れていますので、製品によっては 10 年以上フィルムを公式記録として残すことが義務付けられる場合があります。

しかし、この方法は溶接ビード手形状によりフィルムが当てがいにくいなどで、全ての継手に適用ができないとか、検査コスト面で他の方法より割高になる難点を持っています。

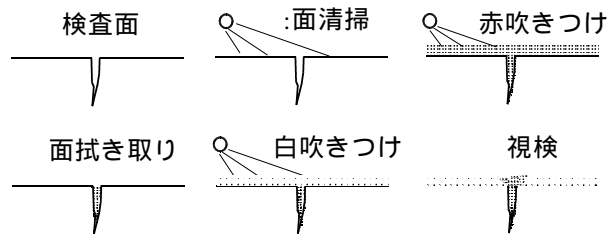
この放射線検査に対して最近では超音波検査が伸びています。溶接継手周辺を平滑に仕上げ、プローブを通じて超音波を斜角か垂直に超音波を発射して、その跳ね返り距離を計器にに表示させ、正常箇所との比較で欠陥を知る方法で、放射線の場合と同様に継手内部の割れ、ブロホール、スラグの巻き込みなどを見つけるこ とができますが、特に割れの検出度に優れているとされています。

超音波検査での欠陥表示

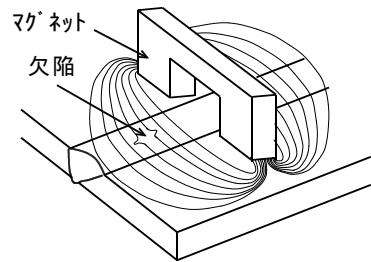
しかしこの方法は、コスト的に優れてはいるのですが、欠陥判定に熟練度を必要とすることと、記録の保存性に難点があります。

現場での超音波検査

したがって、最近ではこれを自動検査装置化で、この点を克服しようとする動きが活発です。

溶接ビードの内部ではなく表面割れの検出に利用されているものに染色と磁粉による探傷法があります。

前者は割れが表面で口の開いている場合、後者はそれに加え、表面から 1-3mm 程度の磁力線のとどく範囲にある内部欠陥も検出でき、検査に熟練度もさほど要求されませんので、簡便な表面検査法として良く使われています。

染色探傷法での検査手順

染色探傷は検査する表面を清浄脱脂し、赤色ペイントを塗布し、しばらくして表面ふき取り、その後白ペイントを塗布しますと、割れの内部にしみ込んでいた赤ペイントが白地に浮き上がり、目視で容易に割れ位置を示してくれると云う方法です。

磁粉探傷が描く磁粉図

磁粉探傷も、やはり清浄にした検査面に、電磁マグネットを使って磁場を作り、そこに磁粉を吹き付けると、正常ならば磁粉が整列して美麗な曲線を描きます。したがって、その曲線が乱れた箇所が割れ位置となりますので、これも目視判定が容易な検査法です。

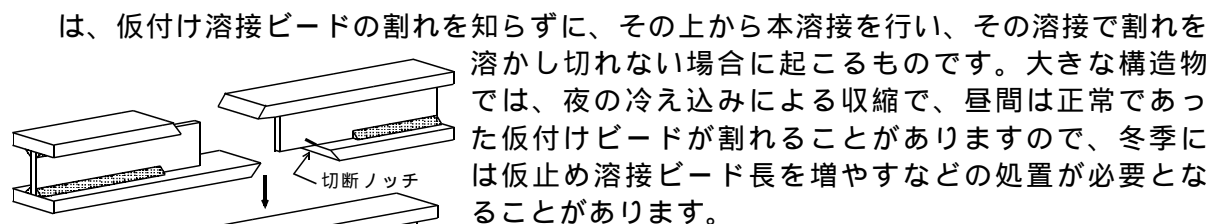
○欠陥の種類とその原因及び対応(割れ・ｽﾗｸﾞ巻き込み・ﾌﾞﾛﾎｰﾙ)

溶接で起こる欠陥のなかで注目すべきものとして、重大事故と結びつき易い溶接割れがまず挙げられます。その発生原因は①鋼材、②溶接材料の誤用、③溶接中の急冷、④ノッチの上からの溶接が主なるものではと考えられます。

①は、鋼材が良くなって来たため最近は割れにくくなっていますが、輸入材の一部などで、P,Sの値が規格ぎりぎりのものを使つていますと出てくることがあり得ます。

②は、軟鋼、高張力鋼、低温鋼など表面色のみでは区別できない鋼種が混在する作業場が増えているための、溶接材料の誤用による割れで、部材のマーキン色を鋼種で変えるなど、第三者でも容易に素材の判別できる手法などで対応されています。

③は、屋外での溶接中でのにわか雨によるとか、雪中などを含む寒冷地の溶接など、少し特殊な例の場合が考えられます。前者では熱影響部などが少し硬くなる程度で済むことが多いのですが、後者の場合は予熱などで対応がされています。

④は、仮付け溶接ビードの割れを知らずに、その上から本溶接を行い、その溶接で割れを溶かし切れない場合に起こるものです。大きな構造物では、夜の冷え込みによる収縮で、昼間は正常であった仮付けビードが割れることがありますので、冬季には仮止め溶接ビード長を増やすなどの処置が必要となることがあります。

溶接で隠れてしまうノッチ

また、割れではありませんが、現場合わせ切りの際のミスでガス切断ノッチを残した上から溶接してしまってとするのもあります。

次いでスラグの巻き込みがあります。この形状には鋭角部があるため、これが起点に割れへと結びつく可能性の高い欠陥として取り扱われます。

これは多層溶接での前層ビードのすみ部のスラグ除去が充分除去されないで、その上から溶接してしまったことなどで起こります。前層ビードが凸型になりすぎ、端部が溝のようになって、スラグの除去ができないこともありますので、一概に手抜きのみで起こるとも云えず、溶接技能レベルの影響が大きいように思います。

ブロホールについては、本来は球型の気泡でビード内部にある欠陥ですが、工場現場ではビード表面に出ているピットと呼ばれているガス噴出穴も含めてブロホールと呼んでいることが多いようです。

すみ肉ビードでのピット

この欠陥は形状が丸いものですから、引張強度などにはあまり影響を与えませんが、継手が高温使用などでは、気泡内のガス膨張で悪影響が出ますので、普通は補修溶接の対象となります。

これらの欠陥の原因をまとめますと、技能未熟や体調不良などの溶接作業者の個人に起因するもの、溶接材料の乾燥不十分などの設備不良によるもの、それに開先形状や仮付け溶接不良などの前工程の影響でとするものに分けられます。

したがって、欠陥発生データの採取と整理をすると、作業場所別に欠陥内容や発生頻度が異なっていることが分かったりして対応が容易になってきます。また、検査結果を作業者個人にできるだけ早く通告することが、反省と欠陥の発生原因の把握に非常に有効となりますので、数日後の通知などはできるだけ避けるべきかと考えます。

○溶接技能と訓練(運棒操作・訓練機関・技能進捗)

アーク溶接は、熱で消耗していく電極の先端と母材との距離を一定に保ちつつ、開先線に沿って定形的な回転運動など**運棒操作**を与えながら一定速度で移動させる作業です。

マグ溶接での運棒法の例

運棒法	下向溶接姿勢での選択
←	○薄板 ○厚板の初層
(ジグザグ)	○厚板での2層以後
(ループ)	○開先間隙の大きい場合
(細かいジグザグ)	○開先間隙の小さい場合 ○余盛を低く抑える場合
(円弧)	○大脚長すみ肉での初層

これを片手で持ったホルダとかトーチで連続的に行ないますので、溶接作業者は腕と手首の微妙な動作と、色ガラスを通して見た強いアーク光のかすかな揺れの相異に対して瞬発的な反応力が必要なため、それなりの訓練と経験を積んだ技能が要求されます。

実際の作業面では、板厚で 6 ～ 20mm 程度では溶接はやり易いのですが、それ以下の薄板や逆に厚板となりますと難しくなります。

また、作業姿勢も当然のことですが下向き作業姿勢が容易なので、これが基本となりこの技能習得後に立向、それの横向・上向姿勢と、より高い技能が必要とされる分野へと習熟度を高めて行きます。

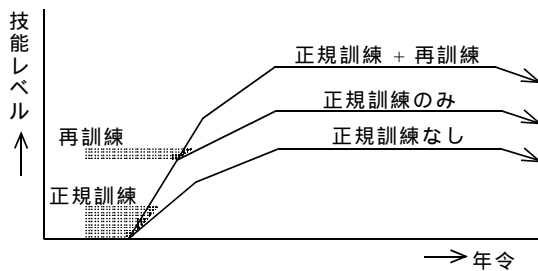
溶接未経験者の**訓練期間**をみますと、大手工場では３～４ヶ月の学科と実施教育を行い、公的な資格の基本級的なものを取得させた後に現場工場への配属としているようです。

工場では約一年間ほど、下向き作業のみとなりますが、それも突合せ継手ではなく、より容易な水平すみ肉溶接作業に就かせ、その間での本人の技能向上レベルをみて立向姿勢とかより複雑な作業のある職場へと配転する制度が採られ、技能向上と保持がされているようです。

溶接技能訓練場

工場で訓練場を持たない場合では、新人を公的か溶接材料メーカや溶接機器メーカなどの私的な溶接専門の訓練場で教育してもらうことになります。

これでは限定されたコース別となっていることが多いため、訓練期間も 3 ～ 4 週間程度で、あとは本人の自助努力でとなります。その他に友人に少し教わったとか、見よう見まねでとするのもありますが、この場合は基本姿勢が習得できず、我流でとなることが多いため、以後の技能進歩の度合いが遅くなりがちのようです。

溶接作業での技能レベル進捗度傾向

いずれにせよ、溶接では以後は一人作業のため独自での技能向上をとなりますので、訓練後二三年経過しますと我流の作業姿勢や変わった運棒操作となることもあり得ますので、技能レベルの進捗度に大きな差が出がちです。

したがって、三年程度の経験者に対しては、1 ～ 2 日程度の優秀な技能保持者からの個人指導の講習会が効果的となります。

○技能資格と個人管理(JIS・有効期限・個人ｶｰﾄﾞ)

この溶接作業者の技能程度を公的に認定するものとしては、日本工業規格(Japanese Industrial Stanndards)のが一般的ですが、船舶では各国の船級協会、圧力容器ではボイラ協会などのように、各産業界独自で行っているのもありますので、製造する溶接製品により要求される技能資格が異なることがあります。

この基本的な JIS での溶接技能認定のための試験についてみますと、学科と実技があり両方の同時合格が要求されていますが、学科不合格、実技合格の場合のみ、学科の再受験が可能です。学科は施工や安全作業面についての基礎的な質問で 100 点満点で 60 点以上を合格としています。

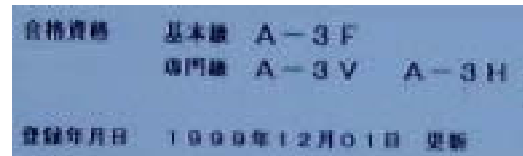
実技試験では、溶接法(被覆アーク溶接・半自動アークなど)でまず分かれ、その各々で板厚(薄板・中板・厚板など)、溶接姿勢(下向・立向・横向・上向)、開先形状(裏当てあり・なし)と縦横に細分化されていますので、その中から実作業に向くものを選んでの受験となります。

板厚では、薄板を選択しますと 3.2mm 厚で受験し、合格しますとこれ以下の板厚作業を可としています。同様に中板は 9mm 厚で受験、25mm 厚以下 3.2mm 厚まで、厚板では 25mm 厚で受験、25mm 厚以上が可としています。したがって、普通の工場では中板での受験が多いように思います。なを、試験の種類で板以外としてパイプがあります。これではパイプを固定し、円周継手をぐるりとあらゆる姿勢で溶接する試験となります。

次いで板での溶接姿勢ですが、下向姿勢を基本としていますので、初めての受験者はまず下向で合格し、その後に他の姿勢での受験をとされていますが、下向と他の姿勢の同時受験

も認められています。工場現場では、横向、上向姿勢での作業の少ないことや、実施面で相当の技能が要求されますので､初めての場合は下向と立向の二姿勢での受験が多いようです。

受験は全て試験片の片側から溶接のみで済ませる方法で、裏当て金なしでは表側の溶接で裏ビードを確実に出す必要がありますので、少し高い技能レベルが要求されます。

手溶接合格証に記載の資格の種類

(A:裏当てあり　3:厚板　F:下向　V:立向　H:横向)

したがって、これで資格を取れば片面溶接も可となりますが、実作業ではこの種の継手はまれですので、普通は裏当てありでの受験になるかと思います。

これで例えば中板・下向き・裏当てありで合格しますと資格としては(A-2F)となります。

このようにして取得した資格は有効期限 3 年とされていますので、それ以後では実技試験のみの更新試験を受け、資格を継続するか、より上位の姿勢などに挑戦するかになります。

これらからして、個々の作業員の技能管理はとなりますと、個人カードの作成が重要となります。

これは一般的には忘れがちな資格の期限切れへの事前通告資料としても使われますが、個人的な技能進捗度へのコメント用や個人の欠陥発生頻度などが記載されていればより有効となります。

それに工場全体としての溶接技能レベルの高低については、技能指導員の素質に負う面が高いようですので、その人選には充分な配慮が必要となります。

溶接関係資格

＊技術者資格＊

溶接技術者認証資格（WES 溶接技術者）

○認定機関

（社）日本溶接協会（TEL.03-3257-1525）

○目的

客先・発注者が要求する品質を満足し、使用期間をを通じて安全な溶接構造物を製作する溜めに必要な溶接に関する十分な知識、職務能力、責任及び経験を有する溶接技術者を認証。

○受験資格

特別級：　①一級認証取得5年以上。②理工系大学卒で経験3年以上。③工業高等専門学校卒で経験7年以上など。

一　級：　①二級認証取得4年以上。②理工系大学卒で経験2年以上。③工業高等専門学校卒で経験5年以上。④工業高等学校卒で経験8年以上など。

二　級：　①理工系大学卒で経験1年以上。②工業高等専門学校卒で経験1年以上。③工業高等学校卒で経験2年以上。④工業高等学校以外の高卒で経験4年以上。⑤学歴によらない場合で経験7年以上など。

○試験科目

筆記試験と口述試験。ただし、一級、二級は協会が認めた研修会に出席、修了証の取得者は口述試験は免除。

○資格の有効期限

新規は 2 年。書類審査でまたは講習会と演習試験で 4 年毎に更新できる。

アルミニウム合金構造物の溶接施工管理技術者資格

○認定機関

（社）軽金属溶接構造協会　（TEL.03-3863-5545）

○目的

アルミニウムの溶接施工の信頼性の確保と、そのための施工管理技術者確保の両面を目的　として、管理技術者の資格を認定する。

○受験資格

一級：二級で経験 4 年以上

二級：①三級で経験4年以上。②高等学校卒で経験7年以上。③工業高等専門学校卒で経験3年以上。④理工系大学卒で経験2年以上など。

三級：①中学卒で経験4年以上。②高等学校卒で経験3年以上。③工業高等専門学校卒で経験2年以上など。

○試験科目

学科試験と実技試験

○資格の有効期限

3 年。申請により 2 回更新継続できる。

マイクロ・ソルダリング技術者

○認定機関

（社）日本溶接協会　　（TEL.03-3257-1525）

○目的

マイクロソルダリング技術者として備えるべき一定水準の技術能力、品質評価能力を認定。

○受験資格

①マイクロソルダリング･インストラクタの経験2年以上。②高等学校卒で経験5年以上。③工業高校卒で経験5年以上。④工業高等専門学校卒で経験3年以上。⑤理工系大学卒で経験2年以上。

〇試験科目

筆記試験と面接試験。

〇資格の有効期限

3 年。最大継続で最大有効期限 9 年。これ以後の継続は資格審査が必要。

圧接管理技士資格

〇認定機関

(社)日本圧接協会　　（TEL.03-3230-0981）

〇目的

ガス圧接工事の計画、管理などに携わる技術者の資格を認定。

〇受験資格

①建築、土木の課程を修めた大学卒で圧接実務3年以上。②高等専門学校卒で、圧接実務5年以上。③工業高校卒で圧接業務7年以上。④手動ガス圧接技量資格3種取得後、実務経験4年以上。⑤圧接技術関係実務経験10年以上など。

〇試験科目

筆記及び口述試験。

〇資格の有効期限

4 年。4 年毎に研修会の受講と口述試験で更新できる。

＊指導者資格＊

溶接作業指導者資格（WES 溶接指導者）

〇認定機関

(社)日本溶接協会　　（TEL.03-3257-1525）

〇目的

溶接作業と溶接作業者の技量向上、関連作業の詳細を直接指導する作業指導者の資格を認定。

〇受験資格

年令 30 才以上で溶接に関係する JIS の技量資格を継続 9 年以上所有している者。

〇試験科目

講習会の受講と終了試験。

〇資格の有効期限

3 年。更新 2 回で最大 9 年まで。

マイクロソルダリング・インストラクタ（INS）

〇認定機関

(社)日本溶接協会　　（TEL.03-3257-1525）

〇目的

マイクロソルダリング技術者及びインストラクタの資格を認定。

〇受験資格

①年令22才以上で経験4年以上。②理工系大学以外の大卒で経験3年以上。③理工系大学卒で経験2年以上。

〇試験科目

筆記試験、実技試験、面接試験と判定能力試験（継手検査についての基礎知識と良否判定実技能力）

〇資格の有効期限

5年。更新試験で継続できる。

＊技能者資格＊

手溶接技能者資格（一般に手溶接の JIS 資格と呼称）

○認定機関

(社)日本溶接協会　　（TEL.03-3257-1525）

○目的

被覆アーク溶接、ガス溶接、ティグ溶接、それに被覆とティグの組み合わせ溶接についての技能レベル資格を認定。

○受験資格

基本給（下向き作業姿勢）は年令 15 才以上、実務経験 3 ヶ月以上。専門級（立向・横向などの作業姿勢）は年令 15 才以上、実務経験 6 ヶ月以上。

○資格の種類（素材は炭素鋼）

表の 45 種の資格記号があり、このなかから実作業に必要な資格を、一つまたは複数の受験ができる。

方法＼姿勢＼級	基本級	専門級			
	板下向	板立向	板横向	板上向	固定管
被覆溶接	N-1F	N-1V	N-1H	N-1O	N-1P
	A-2F	A-2V	A-2H	A-2O	A-2P
	N-2F	N-2V	N-2H	N-2O	N-2P
	A-3F	A-3V	A-3H	A-3O	A-3P
	N-3F	N-3V	N-3H	N-3O	N-3P
組合せ溶接	C-2F	C-2V	C-2H	C-2O	C-2P
	C-3F	C-3V	C-3H	C-3O	C-3P
ティグ溶接	T-1F	T-1V	T-1H	T-1O	T-1P
ガス溶接	G-1F	G-1V	G-1H	G-1O	G-1P

注:試験材で裏当て金なし(N)。あり(A)。
注:試験材の板厚は、1(薄板)、2(中板)、3(厚板)。

○試験科目

筆記試験と実技試験。はじめての場合の実技は基本級のみか、基本級と専門級の並行受験となる。

○資格の有効期限

有効期限は 1 年。しかし更新手続きが 2 回でき、3 ヶ年有効。3 年後は実技試験の受験のみに新規資格となる。

半自動接技能者資格（一般に半自動溶接の JIS 資格と呼称）

○認定機関

(社)日本溶接協会　（TEL.03-3257-1525）

○目的

マグ溶接、セルフシールド溶接、それにマグとティグの組み合わせ溶接についての技能レベル資格を認定。

○受験資格

基本給（下向き作業姿勢）は年令 15 才以上、実務経験 3 ヶ月以上。専門級（立向・横向などの作業姿勢）は年令 15 才以上、実務経験 6 ヶ月以上。

○資格の種類（素材は炭素鋼）

表に示すような 45 種の資格があり、記号化されている。したがって、この中から実作業に必要と思われる資格を、一つまたは複数を受験。

方法＼姿勢＼級	基本級	専門級			
	板下向	板立向	板横向	板上向	固定管
マグ溶接	SN-1F	SN-1V	SN-1H	SN-1O	SN-1P
	SA-2F	SA-2V	SA-2H	SA-2O	SA-2P
	SN-2F	SN-2V	SN-2H	SN-2O	SN-2P
	SA-3F	ＳA-3V	SA-3H	SA-3O	SA-3P
	SN-3F	SN-3V	SN-3H	SN-3O	SN-3P
組合せ溶接	SC-2F	SC-2V	SC-2H	SC-2O	SC-2P
	SC-3F	SC-3V	SC-3H	SC-3O	SC-3P
セルフシールド溶接	SS-2F	SS-2V	SS-2H	SS-2O	SS-2P
	SS-3F	SS-3V	SS-3H	SS-3O	SS-3P

注:半自動(S)。
注:試験材で裏当て金なし(N)。あり(A)。
注:試験材の板厚は、1(薄板)、2(中板)、3(厚板)。

○試験科目

筆記試験と実技試験。はじめての場合の実技は基本級のみか、基本級と専門級の並行受験となる。

○資格の有効期限

有効期限は 1 年。しかし、更新手続きは 2 回でき、3 ヶ年有効。3 年後は実技試験の受験のみで新規資格となる。

ステンレス鋼溶接技能者資格（ステンレス溶接の JIS 資格と呼称）

〇認定機関

(社)日本溶接協会　　（TEL.03-3257-1525）

〇目的

被覆アーク溶接、ガス溶接、ティグ溶接、それに被覆とティグの組み合わせ溶接についての技能レベル資格を認定。

〇受験資格

基本給（下向き作業姿勢）は年令 15 才以上、実務経験 3 ヶ月以上。専門級（立向・横向などの作業姿勢）は年令 15 才以上、実務経験 6 ヶ月以上。

〇資格の種類（素材はステンレス鋼）

表の 19 種の資格記号があり、この中から実作業必要な資格を一つ、または複数受験。

方法＼姿勢＼級	基本級	専門級			
	板下向	板立向	板横向	板上向	固定管
被覆溶接	CN-F	CN-V	CN-H	CN-O	CN-P
				CA-O	CA-P
組合せ溶接					CN-PM
ティグ溶接	TN-F	TN-V	TN-H	TN-O	TN-P
溶極式溶接	MN-F	MN-V	MN-H		
	MA-F	MA-V	MA-H		

注:試験材で裏当て金なし(N)。あり(A)。

〇試験科目

筆記試験と実技試験。はじめての場合の実技は基本級のみか、基本級と専門級の並行受験となる。

〇資格の有効期限

有効期限は 1 年。しかし、2 回まで更新手続きができ、3 ヶ年有効。3 年後は実技試験の受験のみで新規資格となる。

チタン溶接技能者資格

〇認定機関

(社)日本溶接協会　　（TEL.03-3257-1525）

〇目的

ティグ溶接とミグ溶接についての技能レベル資格を認定。

〇受験資格

基本給（下向き作業姿勢）は年令 15 才以上、実務経験 3 ヶ月以上。専門級（立向・横向などの作業姿勢）は年令 15 才以上、実務経験 6 ヶ月以上。

〇資格の種類（素材はチタン）

表の 6 種の資格記号があり、このなかから実作業に必要な資格を、一つまたは複数を受験。

方法＼姿勢＼級	基本級	専門級			
	板下向	板立向	板横向	板上向	固定管
ティグ接	RT-F	RT-V	RT-H	RT-O	RT-P
ミグ溶接	RM-F				

〇試験科目

筆記試験と実技試験。はじめての場合の実技は基本級のみか、基本級と専門級の並行受験となる。

〇資格の有効期限

有効期限は 1 年。しかし、更新手続きは 2 回でき、3 ヶ年有効。3 年後は実技試験の受験のみで新規資格となる。

プラスチック溶接技能者資格

〇認定機関

(社)日本溶接協会　　（TEL.03-3257-1525）

〇目的

プラスチック溶接についての技能レベル資格を認定。

〇受験資格

基本給（下向き作業姿勢）は年令 15 才以上、実務経験 3 ヶ月以上。専門級（立向・横向などの作業姿勢）は年令 15 才以上、実務経験 6 ヶ月以上。

○資格の種類

表より 12 種の資格記号があり、この中から受験。

材質＼姿勢／級	基本級	専門級		
	板下向	板立向	板横向	板上向
硬質塩化ビニル	PVC-F	PVC-V	PVC-H	PVC-O
ポリプロピレン	PP-F	PP-V	PP-H	PP-O
ポリエチレン	PE-F	PE-V	PE-H	PE-O

注:すべて熱風溶接

○試験科目

筆記試験と実技試験。はじめての場合の実技は基本級のみか、基本級と専門級の並行受験となる。

○資格の有効期限

有効期限は 1 年。しかし、更新手続きは 2 回でき、3 ヶ年有効。3 年後は実技試験の受験のみで新規資格となる。

ろう付溶接技能者資格

○認定機関

(社)日本溶接協会　　（TEL.03-3257-1525）

○目的

ろう付作業についての技能レベル資格。

○受験資格

年令 15 才以上、実務経験 6 ヶ月以上。

表より 4 種の資格記号があり、この中から実作業に必要な資格を受験。

	板材	管材
銅	FA-CU	PA-CU
炭素鋼	FA-S	
ステンレス鋼	FA-SUS	

注:すべてガスろう付け

○試験科目

筆記試験と実技試験。

○資格の有効期限

有効期限は 1 年。しかし、更新手続きは 2 回でき、3 ヶ年有効。3 年後は実技試験の受験のみで新規資格となる。

アルミニウム溶接技能者資格

○認定機関

(社)軽金属溶接構造協会　（TEL.03-3863-5545）

○目的

アルミニウムおよびアルミニウム合金のティグ溶接とミグ溶接についての技能レベル資格。

○受験資格

基本級：15 才以上で板のアルミのティグまたはミグ溶接の実務経験 6 ヶ月以上。

専門級：16 才以上でアルミの板または管のティグまたはミグ溶接の実務経験 1 カ年以上。

○資格の種類（アルミニウム合金）

表より 45 種の資格記号があり、この中から実作業に必要な資格を一つ、または複数受験。

方法＼姿勢／級	基本級	専門級			
	板下向	板立向	板横向	板上向	固定管
ティグ溶接	TN-1F	TN-1V	TN-1H	TN-1O	TN-1P
	TN-2F	TN-2V	TN-2H	TN-2O	TN-2P
	TN-3F	TN-3V	TN-3H	TN-3O	TN-3P
ミグ溶接	MN-1F	MN-1V	MN-1H	MN-1O	MN-1P
	MA-1F	MA-1V	MA-1H	MA-1O	MA-1P
	MN-2F	MN-2V	MN-2H	MN-2O	MN-2P
	MA-2F	MA-2V	MA-2H	MA-2O	MA-2P
	MN-3F	MN-3V	MN-3H	MN-3O	MN-3P
	MA-3F	MA-3V	MA-3H	MA-3O	MA-3P

注:試験材で裏当て金なし(N)。あり(A)。
注:試験材の板厚は、1(薄板)、2(中板)、3(厚板)。

○試験科目

筆記試験と実技試験。はじめての場合の実技は基本級のみか、基本級と専門級の並行受験となる。

○資格の有効期限

有効期限は 1 年。しかし、更新手続きは 2 回でき、3 ヶ年有効。

マイクロソルダリング・オペレータ（OPR）

○認定機関

(社)日本溶接協会　（TEL.03-3257-1525）

○目的

マイクロソルダリング作業者の技能についての資格。

○受験資格

18才以上で実務経験3ヶ月以上。

○試験科目

筆記試験と実技試験。

○資格の有効期限

有効期限は 1 年。しかし 2 回まで更新手続きができ、3 ヶ年有効。

石油工業関係溶接士（JPI）

○認定機関

(社)日本溶接協会　（TEL.03-3257-1525）

○目的

石油関係に設備される全ての圧力容器、貯槽、配管および一般構造物の溶接従事者の技量資格。

○受験資格

資格		受験時に所有済みのJIS関係の技量資格
A種	1級	N-2F･V･H･O
	2級	N-2F･V･H
B種	1級	N-3F･V･H･OまたはN-3F･P
	2級	N-3F･V･H
C種	1級	N-2F･PまたはN-3F･P
E種	1級	①N-2F･V･H　②N-2F･V･O
	2級	③N-2F･P　④N-3F･V･H
F種	1級	⑤N-3F･V･O　⑥N-3F･P
	2級	のいずれか
G種	1級	CN-F･V･H･OまたはCN-F･V･H･CA-O
	2級	CN-F･V･H
H種	1級	CN-PまたはCN-PM

	溶接できる素材と作業範囲	1級	2級
A種	50kgf/mm^2 以下の炭素鋼で板厚19mm以下の板。	現場溶接	工場溶接
B種	50kgf/mm^2 以下の炭素鋼のすべての厚さの板。	現場溶接	工場溶接
C種	50kgf/mm^2 以下の炭素鋼で板厚22mm以下の板と管。	現場溶接	－
E種	58-80kgf/mm^2 範囲の高張力鋼のすべての厚さの板。	現場溶接	工場溶接
F種	合金元素10%以下の合金鋼で厚さ22mm以下の板と管。50kgf/mm^2以下の炭素鋼で板厚22mm以下の板と管。	現場溶接	工場溶接
G種	合金元素10%を超える合金鋼で厚さ19mm以下の板。	現場溶接	工場溶接
H種	合金元素10%を超える合金鋼で厚さ22mm以下の板と管。	現場溶接	－

上左表

○資格の種類

上右表

○試験科目

実技試験のみ。ただし、A 種、B 種、C 種、G 種、H 種は JIS 合格者の書類審査で認定。

○資格の有効期限

有効期限は 1 年。しかし 2 回まで更新手続きができ、3 ヶ年有効。

日本海事協会溶接工技量資格　（一般に NK 資格と呼称）

○認定機関

(財)日本海事協会　（TEL.03-3230-1201）

○目的

船体構造、積船タンク、船内管に適用する溶接についての技量資格を認定。

○受験資格

制限なし。

○資格の種類

対象材料：　普通鋼、ステンレス鋼、アルミニウム合金。
溶接法：　　被覆アーク、半自動、ミグ、ティグ溶接。
板厚と溶接作業姿勢：　JIS とほとんど同一。
したがって、資格記号も JIS と同じ。

○試験科目

実技試験のみ。

○資格の有効期限

有効 3 ヶ年。

手動ガス圧接工技量資格

○認定機関

(社)日本圧接協会　　（TEL.03-3230-0981）

○目的

手動ガス圧接の技量資格を認定。

○受験資格

ガス溶接技能講習会修了証か、ガス溶接作業主任者免許証の何れかを所有し、以下の条件を満たすこと。
1 種：　予備試験に合格し、6 ヶ月以上圧接技術を習得した者。
2 種：　1 種資格取得後、6 ヶ月以上圧接作業に従事した者。
3 種：　2 種資格取得後、6 ヶ月以上圧接作業に従事した者。
2 種：　3 種資格取得後、6 ヶ月以上圧接作業に従事した者。

○試験科目

学科と実技試験。

○資格の有効期限

有効 3 ヶ年。更新試験で資格延長できる。

＊法で規定されている資格＊

これは揺動安全衛生法により定められている規定で、溶接技量の善し悪しではなく、作業の安全面を重視した労働省の資格。関連構造物か、一般の溶接に従事する作業者は、必ず事前に取得していなければならない資格。

ボイラ溶接士資格

○認定機関

労働省。実施は各地区にある安全衛生技術センター。

○該当する法規

労働省安全衛生法 61 条第 1 項、ボイラ則 9 条、令 20 条第 3 号。

○目的

溶接で作られるボイラまたは圧力容器の製造、修理に従事する者の資格認定。

○資格の種類

特殊ボイラ溶接士：ボイラまたは第 1 種圧力容器の溶接作業者。
普通ボイラ溶接士：ボイラまたは第 1 種圧力容器で、板厚 25mm 以下の溶接作業者。

○受験資格

特殊ボイラ溶接士：18 才以上で普通ボイラ溶接士免許取得後、1 年以上ボイラまたは第 1 種圧力容器の溶接作業従事者。
普通ボイラ溶接士：18 才以上で普通ボイラ溶接士免許取得後、1 年以上の

溶接作業の経験者。

○試験科目

学科と実技試験。

○資格の有効期限

なし。

ガス溶接作業主任者資格

○認定機関

労働省。実施は各地区にある安全衛生技術センター。

○該当する法規

労働省安全衛生法 14 条、令 6 条、労働衛生規則 314 条。

○目的

アセチレン溶接装置、またはガス集合装置を用いて行う、溶接・溶断作業を行う際に作業方法の決定、作業指揮、監督指導者の資格を認定。

○受験資格

①ガス溶接技能講習会の終了者で、以後3年以上ガス溶接などの業務従事者。②大学、高専で溶接学科を専攻卒業者。③大学、高専の工学または化学を専攻した卒業者で、1年以上ガス溶接の従事者。④製缶、配管科の職業指導員の免許取得者など。

○試験科目

学科と実技試験。

○資格の有効期限

なし。

ガス溶接技能講習　（一般的にガス講習と呼称）

○認定機関

労働省。実施は各地区にある安全衛生技術センター。

○該当する法規

労働省安全衛生法 61 条第 1 項、労働衛生規則 78 条、14 項。

○目的

ガス溶接作業者が必ず携帯していなければならない講習会修了証。

○受験資格

制限なし。

○講習科目

学科講習と実技講習。受講後の試験などはない。

○有効期限

なし。

アーク溶接特別教育　（一般的にアーク特別と呼称）

○認定機関

労働省。実施は各地区にある安全衛生技術センター。

○該当する法規

労働衛生規則 36 条、第 3 号。

○目的

アーク溶接作業者が必ず携帯していなければならない講習会修了証。

○受験資格

制限なし。

○講習科目

学科講習（11 時間）と実技講習（10 時間以上）。受講後の試験などはない。

○有効期限

(附表　溶接関連の資格一覧)

なし。

溶接関連技術書一覧(平成1～11年発行分)

書　　名	編者・著者	発行所	発行年・頁数	
溶接・接合用語活用事典	応和俊雄 他	産報出版	H.1	P.699
最近のろう接・拡散接合技術	溶接学会	溶接学会	H.1	P.243
溶接構造物の検査	日本溶接協会	日本溶接協会	H.1	P.288
接合技術の最近の進歩	日本鉄鋼協会	日本鉄鋼協会	H.1	P.305
電気工作物の溶接	日本鉄鋼協会	東洋法規出版	H.1	P.335
ｷｬﾋﾟﾗﾘｰ接合ーろう付とはんだ付ー	信太邦夫 訳	日本ｱﾙﾐｯﾄ	H.1	P.189
ｾﾗﾐｯｸｽ接合工学	岩本信也　他	日刊工業新聞社	H.2	P.285
金属とｾﾗﾐｯｸｽの接合	岩本信也　他	内田老鶴圃	H.2	P.357
接合ー技術の全容と可能性	日本塑性加工学会編	ｺﾛﾅ社	H.2	P.271
擬固と溶融加工	G.J.DAVIES	新日本鋳造協会	H.2	P.256
新材料のための接合技術	沖田耕三　編	槙書店	H.2	P.211
溶接・接合工学概論	佐藤邦彦	理工学社	H.2	P.118
溶接・接合便覧	溶接学会	丸善	H.2	P.1496
溶接及びろう付施工法、溶接士等の認定	ASME ｺｰﾄﾞ 訳	日本規格協会	H.2	P.299
ｾﾗﾐｯｸｽ接合工学	岩本信也　他	日刊工業新聞社	H.2	P.285
溶接ｱｰｸの物理	ﾗﾝｶｽﾀｰ編	溶接学会	H.2	P.373
ﾛﾎﾞｯﾄｱｰｸ溶接技術入門	溶接協会ﾛﾎﾞｯﾄ研究会	産報出版	H.3	P.210
ﾏｸﾞ・ﾐｸﾞ溶接の欠陥防止対策	溶接協会棒部会	産報出版	H.3	P.196
溶接技術入門	小林一清	理工学社	H.3	P.206
ｱﾙﾐﾆｳﾑの各種接合法と最近の進歩	軽金属溶接構造協会	軽金属溶接構造協会	H.3	P.132
鉄骨溶接施工ﾏﾆｭｱﾙ	日本溶接協会建設部	産報出版	H.3	P.254
溶接・接合用語事典	溶接学会　編	産報出版	H.3	P.173
粉体接合・加工技術講習ﾃｷｽﾄ	粉体接合研究委員会	日本溶接協会	H.3	P.103
ﾛﾎﾞｯﾄｱｰｸ溶接技術入門	日本溶接協会	産報出版	H.3	P.206
新版ﾃｨｸﾞ溶接法の基礎と実際	溶接協会	産報出版	H.4	P.272
ﾃｨｸﾞ溶接法の基礎と実際（新版）	日本溶接協会	産報出版	H.4	P.269
図解ｿﾙﾀﾞﾘﾝｸﾞ用語事典	編集委員会	工業調査会	H.4	P.506
標準ﾏｲｸﾛｿﾙﾀﾞﾘﾝｸﾞ技術	認定・検定委員会	日刊工業新聞社	H.4	P.355
ﾏｸﾞ・ﾐｸﾞ溶接入門	酒井芳也 他	産報出版	H.4	P.247
図解溶接の技術読本　2 訂版	応和俊雄　他	東京電機大学出版	H.4	P.246
ｸﾗｯﾄﾞ鋼溶接の実際	日本高圧力技術協会	産報出版	H.4	P.194
材料別接合技術ﾃﾞｰﾀﾊﾝﾄﾞﾌﾞｯｸ	堂山昌男　編	ｻｲｴﾝｽﾎｰﾗﾑ	H.4	
摩擦圧接ﾃﾞｰﾀｼｰﾄ集	ﾃﾞｰﾀｼｰﾄ編集委員会	摩擦圧接協会	H.4	
CO2 ﾚｰｻﾞ加工技術	石井 明　他	日刊工業新聞社	H.4	P.178
ｱﾙﾐﾆｭｰﾑ溶接用語	教育委員会編	軽金属溶接構造協	H.4	P.115
最近の切断技術の進展とその溶接への適用	溶接学会	溶接学会	H.4	P.76
鉄骨溶接部の超音波探傷検査	上平綱昭　他	鋼構造出版	H.4	P.177
最近のｽﾃﾝﾚｽ鋼及び高合金の溶接技術に関する講習会	日本溶接協会	日本溶接協会	H.4	P.60
電気工作物の溶接の技術基準（H.2 改訂版）	通商産業省　編	火力原子力発電協会	H.4	P.101
溶接・接合技術	溶接学会　編	産報出版	H.5	P.393
溶接・接合工学の基礎	溶接学会編	丸善	H.5	P.296
加工技術とその応用	日本機械学会	日刊工業新聞社	H.5	P.367

書　　名	編者・著者	発行所	発行年・頁数	
最新接合溶接・接合技術	溶接学会	産報出版	H.5	P.393
現場技術者のための抵抗溶接入門	溶接学会	溶接学会	H.5	P.83
Q&A 拡散接合　（ﾊｲﾃｸ文庫 1）	大橋 修	産報出版	H.5	P.163
Q&A ﾚｰｻﾞ加工　（ﾊｲﾃｸ文庫 2）	浦井直樹　他	産報出版	H.5	P.160
ﾌﾗｯｸｽ入りﾜｲﾔの実践	日本溶接協会	産報出版	H.6	P.248
WES 一級資格試験問題集	日本溶接協会	産報出版	H.6	P.142
溶射用語事典	日本溶射協会	産報出版	H.6	P.128
鉄骨橋梁製作の溶接自動化ﾛﾎﾞｯﾄ化	建設部会	日本溶接協会	H.6	P.168
初めて学ぶ・ろう付．はんだ付	田中正直	東京電機大出版	H.6	P.298
ｱｰｸ溶接の物理	石崎敬三	ｱｸﾞﾈ技術ｾﾝﾀｰ	H.6	P.237
ｴﾚｸﾄﾛﾆｸｽ接合技術	編集委員会	工業調査会	H.6	P.179
STM はんだ付け不良解析と対策	部可伸	工業調査会	H.6	P.159
溶接後熱処理基準とその解説	日本高圧力技術協会	日本工業新聞社	H.6	P.281
ｱﾙﾐﾆｳﾑ合金製漁船の建造技術	軽金属溶接構造協会	軽金属溶接構造協会	H.6	P.444
表面実装技術入門	ｶｰﾒﾝ･ｶﾋﾟﾛ	日本ｱﾙﾐｯﾄ	H.6	P.400
鉄骨・橋梁製作の溶接自動化・ ﾛﾎﾞｯﾄ化ﾏﾆｭｱﾙ	日本溶接協会建設部	産報出版	H.6	P.168
金属材料溶接・接合施工　ﾃﾞｰﾀ集 '64	特殊材料研究委員会	日本溶接協会	H.6	P.498
ｱｰｸ溶接技能教本	産報出版	産報出版	H.7	P.160
ｶﾞｽ溶接技能教本	産報出版	産報出版	H.7	P.120
超精密界面接合の現状と今後の展望	溶接学会	溶接学会	H.7	P.61
ｱﾙﾐﾆｳﾑ合金のｲﾅｰﾄｶﾞｽｱｰｸ溶接 標準溶接条件	軽金属溶接構造協会	軽金属溶接構造協会	H.8	P.33
溶接実務入門	溶接協会編	産報出版	H.8	P.291
溶接・接合ﾌﾟﾛｾｽの基礎	黄地尚義	産報出版	H.8	P.262
ｱﾙﾐﾆｳﾑ合金板とｱﾙﾐ鋳物の接合技術	溶接学会	溶接学会	H.8	P.209
はんだ付技術なぜなぜ 100 問	大沢 直	工学調査会	H.8	P.234
WES2 級 新問題集	溶接協会	産報出版	H.8	P.192
溶射工学	蓮井 準	産報出版	H.8	P.276
内外溶接材料銘柄一覧(1997)	産報出版	産報出版	H.9	P.404
溶接・接合技術概論	溶接学会	産報出版	H.9	P.380
はんだずけ用語辞典	川口虎之輔	日本ｱﾙﾐｯﾄ	H.9	P.229
構造用鋼の鎔接(叢書鉄鋼技術の流れ	上田修三	地人書館	H.9	P.422
JIS ﾊﾝﾄﾞﾌﾞｯｸ溶接(1997)	規格協会	規格協会	H.9	P.1035
ｱﾙﾐﾆｳﾑ合金のｲﾅｰﾄｶﾞｽｱｰｸ溶接入門講座	軽金属溶接構造協会	軽金属溶接構造協会	H.10	P.176
全国溶接銘鑑(1998)	産報出版	産報出版	H,10	P.1254
JIS 半自動溶接受験の手引	出版委員会	日本溶接協会	H.10	P.288
JIS 手溶接受験の手引	出版委員会	日本溶接協会	H.10	P.248
溶接・接合技術入門	溶接学会	溶接学会	H.10	P.292
鉄鋼材料の溶接　(溶接・接合選書 10)	百合岡信孝　他	産報出版	H.10	P.238
大型構造物ﾛﾎﾞｯﾄ溶接読本	竹内直記　他	成山堂書店	H.10	P.185
ｱﾙﾐﾆｳﾑ構造物の溶接施工管理	軽金属溶接構造協会	軽金属溶接構造協会	H.11	P.422
溶接技術入門　(機械工学入門ｼﾘｰｽﾞ)	小林一清	理工学社	H.11	P.206
ﾏｸﾞ･ﾐｸﾞ溶接 Q&A	溶接協会棒部会	産報出版	H.11	P.227
ｱｰｸ溶接粉じん対策教本	溶接協会	産報出版	H.12	P.78